



**Rui Jorge Santos  
Pereira**

**Supervisão e Controlo remoto da iluminação na  
via pública**







**Rui Jorge Santos  
Pereira**

## **Supervisão e Controlo remoto da iluminação na via pública**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



## **O júri / The jury**

Presidente / President

**Prof. Doutor Jorge Augusto Fernandes Ferreira**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Prof. Doutor Luis Filipe Mesquita Nero Moreira Alves**

Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro (arguente)

**Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (orientador)



## **Agradecimentos / Acknowledgements**

É com satisfação que agradeço a todos que contribuíram para que fosse possível a realização deste trabalho:

Ao meu orientador, Professor Doutor José Paulo Santos, pela disponibilidade, motivação e confiança dada ao longo destes meses.

Gostaria de deixar o meu especial agradecimento aos meus pais e irmã por todo o apoio, nas mais diversificadas formas, durante todo o percurso universitário.

Finalizando, agradeço a todos os professores que me acompanharam ao longo deste curso.

Muito Obrigado!



## Palavras-chave

Supervisão e controlo da Iluminação pública; Eficiência; Micro-controlador; *GPRS*; Sensores; Comunicações *Wi-Fi*; *LED*; Linguagem programação C; *LAMP*; *Google Maps*; *Raspberry*.

## Resumo

Esta dissertação faz uma abordagem à problemática da eficiência energética em sistemas de iluminação pública. A principal motivação prende-se com o consumo significativo que a parcela energética destes sistemas ocupa nas economias das autarquias, visto que em Portugal, no ano 2013 foram gastos mais de 100 Milhões de Euros em energia na Iluminação Pública.

Os recentes desenvolvimentos na iluminação *LED* de alta potência permitem novas soluções para a iluminação pública, que são significativamente mais eficientes do ponto de vista energético.

O presente trabalho estuda os principais tipos de iluminação, soluções de controlo existentes e tecnologias de suporte que permitiram desenvolver um sistema robusto, autónomo, e, sobretudo, de baixo custo.

Para tal, foram desenvolvidos dois tipos de módulos (os *slave's* e o *master*), com diversos constituintes, que serão abordados ao longo da dissertação. Cada luminária contém um desses módulos (uma com o *master* e as restantes com os *slave's*) e todas elas comunicam por radio-frequência em cascata, permitindo a transmissão de mensagens de avisos/avarias, consumos e movimento detetados pelos sensores. O conteúdo das variáveis de consumos, avarias/avisos e temperatura são enviadas via *GPRS*, através do módulo *master*, para uma base de dados externa instalada numa placa *raspberry*.

Ao nível de interação com o sistema, a página *website* alojada no *raspberry* permite, entre outras coisas, visualizar avarias sobre uma aplicação do *Google Maps* e analisar um gráfico de consumos e temperatura. É também possível a definição de períodos de tempo em que a iluminação funcionará, sendo útil essencialmente em eventos ocasionais (exemplo de festividades).





## Keywords

Supervision and control of public lighting; Efficiency; microcontroller; *GPRS*; Sensors; Communications *Wi-Fi*; *LED*; C programming language; *LAMP*; Google Maps; Raspberry.

## Abstract

This thesis is an approach to the problem of energy efficiency in public light systems. The main motivation is related to the significant energy consumption these systems take from the economies of local authorities. In Portugal, for example, during 2013, it was spent over 100 million euros in public lighting energy.

Recent developments in high power *LED* lighting enable new solutions for public lighting that are significantly more efficient.

This dissertation studies the main types of lighting, the existing monitoring solutions and supporting technologies which enable the development of a robust, autonomous and, above all, inexpensive system.

For that, it was developed two types of modules (The slave's and the master) with various components, which will be addressed throughout the dissertation. Each lamp contains one of these modules and they all communicate by radio-frequency, allowing the transmission of warning messages/malfunctions, and sensor information (motion detection and consumed power). The content of the consumption variables, faults/warnings and temperature are sent via *GPRS* through the master module to an external database installed on a plate raspberry.

In terms of the interaction with the system, the website hosted on the page raspberry allows, among other things, to view errors on an application of Google Maps and to analyse a consumption and temperature chart. It is also possible to define the time periods when the lighting is functioning, which is useful mainly for occasional events (festivals, for example).



# Glossário

*GPRS* Serviço de Rádio de Pacote Geral.

*Wi – Fi* Wireless fidelity.

*LED* Diodo emissor de luz.

*LAMP* Linux Apache MySQL *PHP*.

*PHP* Hypertext Preprocessor.

*RISC* Reduced instruction set computer.

*DNS* Domain Name System.

*GSM* Global System for Mobile.

*lm* lúmen.

*CPU* Central processing unit.

*LDR* Light Dependent Resistor.

*SMS* Short Message Service.

*NTP* Network Time Protocol.

*PWM* Pulse-width modulation.

*IP* Iluminação Pública.

*GWh* Giga-watt-hora.

*KWh* Quilo-watt-hora.

*ECO.AP* Programa de Eficiência Energética na Administração Pública.

*PCB* Printed circuit board.

*K* Kelvin.

*IRC* Índice de Reprodução de Cor.

*SI* Sistema Internacional de Unidades.

*cd* candela.

*THz* terahertz.

*W* watts.

*lx* lux.

*HPMV* High Pressure Mercury Vapour Lamps.

*DALI* Digital Addressable Lighting Interface.

*A* Ampere.

*NO* Normalmente aberto.

*NC* Normalmente fechado.

*MBUS* Meter-Bus.

*RF* Radiofrequência.

*TCP* Transmission Control Protocol.

*ip* Internet Protocol.

*PLC* Programmable Logic Controller.

*RTC* Real time Clock.

*AC* Alternating current.

*V* Volt.

*HPS* High Pressure Sodium.

*ADENE* Agência para a energia de Portugal.

*ID* Identificador.

*ARM* Advanced *RISC* Machines.

*USB* Universal Serial Bus.

*GPIO* General Purpose Input/Output.

*HDMI* High-Definition Multimedia Interface.

*CSI* Camera Serial Interface.

*DSI* Display Serial Interface.

*SD* Secure Digital.

*I2C* Inter-Integrated Circuit.

*LCD* Liquid crystal display.

*FTP* File Transfer Protocol.

*UART* Universal asynchronous receiver/transmitter.

*CR* Carriage Return.

*LF* Line Feed.

*RAM* Random Access Memory.

*EEPROM* Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory.

*SPI* Serial Peripheral Interface.

*CAN* Controller Area Network.

*ADC* Analog-to-digital converter.

*RTD* Resistive Thermal Devices.

*CI* Circuito integrado.

*PIR* Position Infra Red.

*DAC* Digital analogical converter.

*DC* Direct current.

*IDE* Ambiente de Desenvolvimento Integrado.

*SIM* Subscriber Identity Module.

*URL* Uniform Resource Locator.

*DDNS* Dynamic *DNS*.

*SDA* Serial Data.

*SCL* Serial Clock.

*LSB* Least significant bit.

*TTL* Transistor-Transistor Logic.

*DTR* Data Terminal Ready.

*RTS* Request To Send.

*HTML* HyperText Markup Language.

*CSS* Cascading Style Sheets.

*SSID* Service Set Identifier.



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Introdução . . . . .	1
1.2	Enquadramento e Motivação . . . . .	2
1.3	Objectivos . . . . .	3
1.4	Estrutura . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Estado da Arte</b>	<b>5</b>
2.1	Definições . . . . .	5
2.1.1	Temperatura de cor . . . . .	5
2.1.2	Índice de restituição da Cor . . . . .	5
2.1.3	Intensidade luminosa . . . . .	5
2.1.4	Fluxo luminoso . . . . .	5
2.1.5	Iluminância . . . . .	6
2.2	Breve história da iluminação . . . . .	6
2.3	Técnicas de iluminação . . . . .	6
2.3.1	Incandescentes . . . . .	6
2.3.2	Vapor de mercúrio . . . . .	7
2.3.3	Iodetos Metálicos . . . . .	8
2.3.4	Vapor de Sódio . . . . .	8
2.3.5	Led . . . . .	9
2.3.6	Resumo das tecnologias de iluminação . . . . .	10
2.4	Soluções existentes . . . . .	10
2.4.1	<i>Philips - AmpLight</i> . . . . .	11
2.4.2	<i>Philips - StarSense</i> . . . . .	13
2.4.3	<i>Philips - City Touch</i> . . . . .	15
2.4.4	<i>Siemens</i> . . . . .	15
2.4.5	<i>Osram</i> . . . . .	16
2.4.6	<i>TecIt</i> . . . . .	18
2.5	Resumo . . . . .	19
2.6	Legislação associada à iluminação da via Pública . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Arquitetura e tecnologias para a Solução</b>	<b>21</b>
3.1	<i>Hardware</i> para Servidor <i>web</i> . . . . .	23
3.1.1	<i>Raspberry</i> . . . . .	23
3.2	Comunicações . . . . .	24
3.2.1	Entre luminárias . . . . .	24
3.2.2	<i>GSM/GPRS</i> . . . . .	25

3.3	Microcontroladores . . . . .	25
3.3.1	Esp8266 ESP-12 . . . . .	26
3.4	Sensores . . . . .	26
3.4.1	Temperatura . . . . .	26
3.4.2	Luminosidade . . . . .	27
3.4.3	Movimento . . . . .	28
3.4.4	Corrente e Diferença de Potencial . . . . .	29
3.4.5	Pancada . . . . .	30
3.4.6	<i>Switch</i> . . . . .	31
3.4.7	<i>Driver</i> de Potência <i>LED</i> . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Implementação da solução Proposta</b>	<b>33</b>
4.1	Controlo no terreno . . . . .	34
4.1.1	Troca mensagens com o modem <i>GSM</i> . . . . .	36
4.1.2	Troca mensagens entre os ESP8266 . . . . .	40
4.1.3	Sensores . . . . .	41
4.1.4	Led Driver e PWM . . . . .	44
4.1.5	<i>Relay</i> do módulo master . . . . .	45
4.1.6	ESP8266 . . . . .	46
4.2	Supervisão Remota . . . . .	47
4.3	Análise da Solução . . . . .	52
4.4	Trabalhos Futuros . . . . .	54
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>55</b>
	<b>A Esquemas</b>	<b>57</b>
	<b>B Desenho PCB's</b>	<b>61</b>
	<b>C Calibrar Sensor INA226</b>	<b>65</b>
	<b>D Configuração do Raspberry</b>	<b>67</b>
	<b>E Excertos de Código</b>	<b>71</b>
	<b>F Imagens do protótipo</b>	<b>73</b>



# Lista de Tabelas

2.1	Características das lâmpadas abordadas anteriormente.[1]	10
3.1	Características dos sensores de temperatura.	27
4.1	Relação entre os pinos de programação.	46



# Lista de Figuras

1.1	Iluminação noturna na Europa.[2]	1
1.2	Consumo associado à Iluminação Pública em Portugal.	2
2.1	Exemplo Lâmpada incandescente da marca OSRAM 40W.	7
2.2	Exemplo Lâmpada Vapor de mercúrio de alta pressão da marca OSRAM.	7
2.3	Lâmpada de iodetos metálicos.[3]	8
2.4	Lâmpada de Vapor de Sódio de baixa e alta pressão respectivamente.[3]	8
2.5	Conjunto <i>LED</i> Philips de 11000 <i>lm</i> (117W) @ 80C - CXA3070LED.	9
2.6	<i>Hardware</i> usado no <i>AmpLight CPU</i> da <i>Philips</i> .	11
2.7	<i>Hardware</i> usado no sistema <i>StarSense Wireless</i> da <i>Philips</i> .	13
2.8	<i>Hardware</i> usado no sistema da <i>Philips</i> .	14
2.9	Plataforma <i>City Touch</i> da <i>Philips</i> .	15
2.10	Arquitetura da solução <i>Siemens</i> .	15
2.11	Plataforma de controlo <i>VIA LUMEN</i> da <i>Siemens</i> .	16
2.12	Exemplo da Arquitetura usada pela marca <i>Osram</i> .	17
2.13	Exemplo da arquitetura desenvolvida pela <i>TecIt</i> .	18
3.1	Ilustração Geral do sistema proposto pelo autor.	22
3.2	Placa desenvolvimento <i>Raspberry Pi 2</i> .	24
3.3	Módulo para <i>GPRS</i> Sim900.	25
3.4	Módulo ESP-12 com <i>chip</i> ESP8266 e memória <i>flash</i> .	26
3.5	Sensor de temperatura DS18B20	27
3.6	<i>Chip LDR</i> convencional.	27
3.7	<i>Chip</i> sensor de referencia bh1750	28
3.8	Equipamento usado para deteção de movimento da marca PARADOX.	29
3.9	<i>Chip</i> ACS712.	30
3.10	Resistência <i>shunt</i> e <i>chip</i> INA226.	30
3.11	Sensor de <i>tilt</i> sw -520d	31
3.12	Sensor <i>switch</i> porta	31
3.13	Variação do <i>duty cycle</i> .	32
3.14	<i>LED driver</i> .	32
4.1	Ilustração do <i>hardware</i> implementado.	34
4.2	Ilustração da placa de desenvolvimento <i>master</i> .	35
4.3	Ilustração da placa de desenvolvimento do <i>slave 2</i> .	36
4.4	Diagrama de interações para envio de <i>SMS</i> .	37
4.5	Teste de envio de <i>SMS</i> para o técnico.	37
4.6	Diagrama de interações para o Servidor <i>NTP</i> .	38

4.7	Diagrama de interações para conexão <i>GPRS</i> . . . . .	39
4.8	Diagrama de interações para registo na base de dados. . . . .	39
4.9	Diagrama de interações para troca de informação com a base de dados. . . . .	40
4.10	Diagrama de interações de deteção de movimento na luminária N. . . . .	41
4.11	Diagrama de interações do acionamento do erro <i>tilt</i> na luminária 3. . . . .	41
4.12	Diagrama de interações da soma do consumo de energia. . . . .	41
4.13	Circuito de ligações do DS18B20. . . . .	42
4.14	Circuito de ligações do módulo GY-30 que contém o <i>chip</i> BH1750. . . . .	42
4.15	Circuito de ligações do <i>chip</i> INA226. . . . .	43
4.16	Circuito de simulação da porta de circuitos. . . . .	44
4.17	Diagrama de blocos do <i>LED driver</i> HLG-120H [4]. . . . .	44
4.18	Circuito conversor da tensão do <i>PWM</i> [4]. . . . .	45
4.19	Função compensadora da iluminância. . . . .	45
4.20	Circuito acionador do <i>relay</i> instalado no módulo master. . . . .	45
4.21	Circuito base dos ESP8266 de funcionamento e programação. . . . .	46
4.22	Index da <i>webpage</i> . . . . .	48
4.23	Página com o mapa e separador para apagar erros das luminárias. . . . .	48
4.24	Separador que permite adicionar uma luminária de uma dada zona. . . . .	48
4.25	Separador que permite introduzir dados de localização da luminária. . . . .	49
4.26	Separador que permite visualizar as temperaturas ao longo do dia. . . . .	49
4.27	Separador que permite visualizar os consumos ao longo do mês. . . . .	50
4.28	Separador que permite definir os parâmetros para o calendário atípico. . . . .	50
4.29	Separador que permite escolher o modo de funcionamento manual. . . . .	50
4.30	Separador que permite visualizar informações relativas ao projeto. . . . .	51
4.31	Relação de tabelas da base de dados. . . . .	51
4.32	Periodicidade de registos na base de dados. . . . .	53
A.1	Esquema master. . . . .	58
A.2	Esquema slave. . . . .	59
B.1	PCB do módulo master - top. . . . .	61
B.2	PCB do módulo master - bottom. . . . .	62
B.3	PCB do módulo slave - top. . . . .	62
B.4	PCB do módulo slave - bottom. . . . .	63
B.5	PCB de encaixe para módulo BH1750. . . . .	63
D.1	Conteúdo da tabela 'histórico'. . . . .	69
D.2	Conteúdo da tabela 'luminárias'. . . . .	69
D.3	Conteúdo da tabela 'atribuir'. . . . .	70
D.4	Conteúdo da tabela 'utilizadores'. . . . .	70
D.5	Conteúdo da tabela 'turnos'. . . . .	70
D.6	Conteúdo da tabela 'zonas'. . . . .	70
F.1	Vista superior Protótipo Laboratorial. . . . .	73
F.2	Vista superior do <i>Raspberry</i> . . . . .	74
F.3	Vista superior PCB master. . . . .	74
F.4	Vista inferior PCB master. . . . .	74



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Introdução

Desde o tempo das lamparinas a gás, que a iluminação pública assume um papel essencial para a segurança noturna das sociedades. Possibilita peões e veículos circularem em segurança, diminui a criminalidade e permite realçar espaços e monumentos.

Desde há muito com recurso à eletricidade, a iluminação pública foi acompanhando as tecnologias, estando, nos dias de hoje, as luminárias *LED* em ascensão. Estas são essenciais para dar resposta às entidades que acarretam com os custos de manutenção, uma vez que são bastante reduzidos.

Aliado a um sistema de controlo em tempo real, as poupanças, comparativamente às lâmpadas mais usuais, chegam a atingir os 70%[5].



Figura 1.1: Iluminação noturna na Europa.[2]

Observando a figura 1.1, tem-se consciência que a iluminação pública é responsável por uma parte considerável dos gastos, a nível mundial. Substituindo as lâmpadas usadas atualmente por outras que fazem uso de tecnologias mais eficientes, muitas toneladas de dióxido de carbono podiam ser evitadas.

O presente trabalho pretende dar resposta a esta realidade, propondo a utilização de luminárias *LED* e de um sistema de controlo aliado a um conjunto de sensores que

ção inteligência ao sistema. Para além de barata, esta solução permite, em tempo real e fazendo uso de uma plataforma webpage, a consulta e monitoramento da instalação.

## 1.2 Enquadramento e Motivação

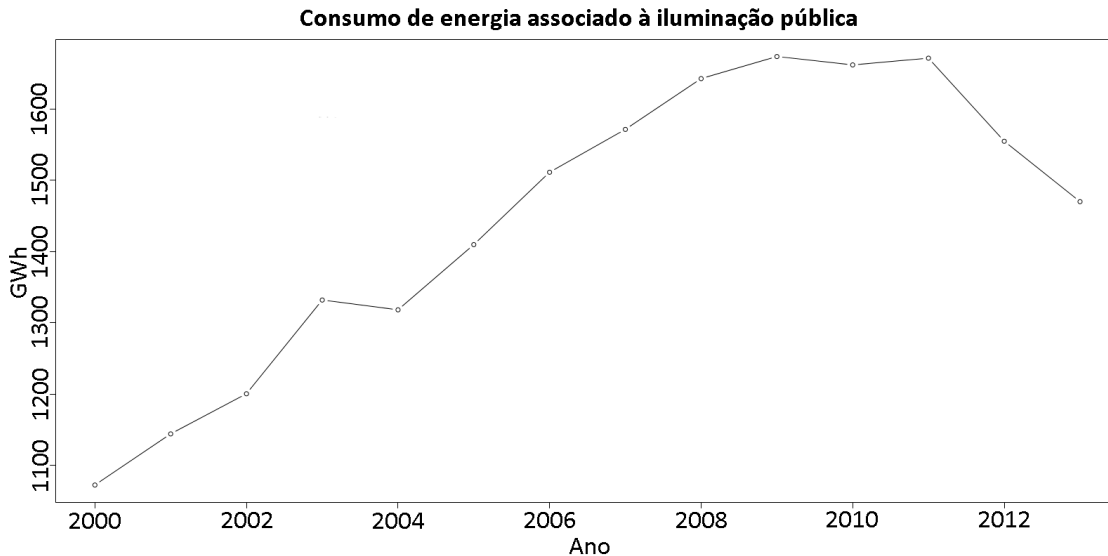


Figura 1.2: Consumo associado à Iluminação Pública em Portugal.

Tendo por base os dados da Figura 1.2[6], que representa o consumo da Iluminação Pública em Portugal a partir do ano 2000 até 2013, verifica-se um crescimento dos gastos de energia ao longo dos anos, com parcial estabilização em 2009 e decréscimo a partir de 2011. Esta alteração de gastos deve-se, essencialmente, às políticas económicas das autarquias, que passam por desligar algumas luminárias (normalmente alternando uma ligada e outra desligada) com vista a tentar dar resposta à alteração do escalão do IVA na eletricidade, que no ano 2011 passou de 6% para 23% e também devido ao facto de optarem por iluminação *LED* associada a sistemas de supervisão e controlo.

No ano de 2013, a *IP* gastou cerca de 3,2% do consumo global de eletricidade em Portugal [6]. Traduzindo este valor para quantia energética, representa cerca de 1470 *GWh*, que, em custos monetários, e com base na tarifa bi-horária[7] (10 centimos por cada *KWh*), atinge a módica quantia de 147 milhões de euros. Além dos aspetos financeiros, há que considerar a vertente ambiental.

Neste campo, surgiu a estratégia europeia 20-20-20 para 2020 [8], cujos objetivos são:

- Reduzir em 20% as emissões de gases de efeito de estufa, relativamente aos níveis de 1990;
- 20% da energia consumida seja proveniente de fontes renováveis;
- Reduzir em 20% o consumo de energia primário relativamente à projeção do consumo para 2020 (eficiência energética).

Por forma a garantir o cumprimento destas metas em Portugal, foi estabelecido através do *ECO.AP*, o objetivo de reduzir a fatura energética em 30% até 2020 [9], nos respetivos serviços e organismos públicos, com a consequente redução de emissões de dióxido de carbono.

Representando uma parte significativa da fatura energética na Administração Pública, a *IP* merece especial atenção e é evidente a importância de definir medidas que visem poupar energia nesta área. Visto tratar-se de uma área frequentemente esquecida, o potencial de intervenção é enorme. Os sistemas são na maioria dos casos, completamente decadentes e ultrapassados, com perdas desnecessárias, que poderiam facilmente ser melhoradas. Para isso, bastaria usar uma solução que aumentasse a eficiência energética, não gerasse energia reativa e fosse essencialmente de baixo custo, usando um controlador em tempo real, aliado à iluminação *LED*, que está cada vez mais presente e é, certamente, a iluminação do futuro por muitos anos.

### 1.3 Objectivos

O objetivo desta dissertação é desenvolver inclusive um protótipo em laboratório, de um sistema de supervisão e controlo da iluminação na via pública que seja, simultaneamente, de baixo custo e fiável. Deste, deve fazer parte um conjunto de dados sensoriais e a rede de comunicação, para facilitar a manutenção e tornar estes mais eficientes do ponto de vista energético. Para tal, irá existir um *hardware* de controlo e uma plataforma webpage para gerir o sistema de *IP*.

As metodologias parcelares desta tese são:

- Familiarização com os conceitos de sistemas de iluminação;
- Legislação;
- Estudo dos diversos tipos de lâmpadas e soluções existentes;
- Estudo de sensores, formas de controlo e comunicações sem fios;
- Desenvolvimento dos módulos essenciais e validação experimental da rede de comunicações usada;
- Construção do protótipo experimental;
- Conceção das *PCB*;
- Elaboração da dissertação.

O protótipo deve permitir o controlo de um conjunto de luminárias, possibilitando, também, medir e armazenar o valor da energia consumida de cada luminária e enviar um aviso para o servidor da plataforma e *SMS* para um telemóvel, caso existam anomalias, ou até tentativas de roubo (lâmpada avariada, porta circuitos aberta). No servidor deve constar uma base de dados, na qual serão armazenados os dados para posterior consulta na página *web*.

Cada luminária, após detetar movimento, deve enviar um sinal para as luminárias envolventes (seguinte e anterior) com vista a colocar a intensidade da lâmpada ao máximo, num determinado período de tempo.



## 1.4 Estrutura

Esta dissertação de mestrado é constituída por quatro capítulos e seis apêndices.

No capítulo dois é dada a conhecer um pouco da história da iluminação em Portugal e é feita uma abordagem às tecnologias usadas nesta área. São também mostrados vários exemplos de sistemas de supervisão e controlo da iluminação da via pública, e no fim, é feito um resumo com as suas principais características e funcionalidades. Ainda neste capítulo, é feita uma pequena abordagem às normas europeias e documentos de referência no estudo de sistemas de *IP*.

No capítulo três é apresentada uma visão geral da arquitetura e funcionamento do sistema. De seguida são descritas as tecnologias usadas no projeto do protótipo. São abordadas as especificações da placa usada para o servidor *web*, dos sistemas de comunicação(*GSM*, *Wi-Fi*), do microcontrolador, dos diversos tipos de sensores (temperatura, luminosidade, movimento, corrente e diferença de potencial, pancada e *switch*), do driver de potência *LED* e, por fim, das técnicas de variação do fluxo luminoso.

No capítulo quatro é descrito o processo de implementação do sistema proposto. Nele, é explicado de forma detalhada, o funcionamento de cada módulo, as mensagens trocadas pelo módulo *GSM*, assim como as trocadas pelos microcontroladores ESP8266 e descrita a funcionalidade dos sensores utilizados. São também, apresentadas as ferramentas essenciais para a concessão da página *web*, assim como a sua interligação com a base de dados. Por fim, dá a conhecer a discussão dos resultados obtidos durante o teste do protótipo. Para além disso, salienta os aspectos que devem ser melhorados numa próxima abordagem ao tema e propõe possíveis trabalhos futuros.

Finalmente, nos apêndices são explicados ao pormenor, aspetos diversificados considerados importantes.

## Capítulo 2

# Estado da Arte

### 2.1 Definições

Ao longo da análise dos sistemas abordados, existiu a necessidade de referir várias grandezas de caracterização das lâmpadas, referidos nesta dissertação. Entre elas destacam-se as seguintes:

#### 2.1.1 Temperatura de cor

A temperatura de cor de uma fonte de luz branca expressa-se em Kelvin  $K$  e pode ser definida como sendo a temperatura de um corpo negro, cuja luz emitida produz a mesma impressão de cor que a fonte de luz. A luz azulada, por exemplo, tem uma temperatura de cor mais elevada e é considerada como sendo mais fria do que a luz com uma temperatura de cor mais baixa.

#### 2.1.2 Índice de restituição da Cor

O  $IRC$  de uma fonte de luz reflete a qualidade da reprodução da cor dos objetos iluminados por essa fonte. Esse índice é medido comparando a reprodução da cor de objetos iluminados pela fonte de luz e por um refletor negro (com a mesma temperatura de cor).

#### 2.1.3 Intensidade luminosa

A unidade no  $SI$  é o  $cd$  e é definido como a intensidade luminosa emitida por uma fonte, numa dada direção de luz monocromática de frequência  $540 THz$ , e cuja intensidade de radiação é de  $1/683 W$  por esterradiano. Essa frequência é percebida como luz verde, para a qual o olho humano possui a melhor capacidade de absorção.

#### 2.1.4 Fluxo luminoso

A unidade é o  $lm$  e traduz a quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte de luz. Equivale ao fluxo luminoso dentro de um cone de um esterradiano, emitido por um ponto luminoso com intensidade de  $1 cd$  (em todas as direções).

### 2.1.5 Iluminância

Tem como unidade o  $lx$  e, segundo a norma EN12665, é o quociente entre o fluxo luminoso incidente num elemento da superfície e a área desse elemento. Por outras palavras, é a quantidade de fluxo luminoso recebido pela unidade de área iluminada.

## 2.2 Breve história da iluminação

Por uma questão de segurança, desde há vários séculos que surgiu a necessidade de manter as ruas iluminadas durante a noite. Em 1780 [10], foi implementado em Portugal (Lisboa) o primeiro projeto de *IP*, no qual as luminárias eram denominadas de lampiões de azeite. Esta solução, única na altura, obrigava a que um individuo estivesse presente para acender e pagar a iluminação.

Passado quase um século (1848), chegou a Portugal (Chiado) o primeiro sistema de iluminação a gás, constituído por 28 candeeiros. Este sistema foi o primeiro de *IP* centralizada, acarretando também elevados custos inerentes, ficando restrito apenas a grandes centros Urbanos.

Energia como a usada nos dias de hoje, teve início apenas em 1889[10], quando surgiram as primeiras centrais elétricas. Estas começaram por alimentar arcos elétricos e passadas 3 décadas surgiram os primeiros candeeiros com lâmpadas incandescentes, que prevaleceram na *IP* até o progresso tecnológico ter criado a lâmpada de descarga gasosa.

Nos tempos mais recentes, com o elevado crescimento e desenvolvimento das cidades, ocorreu uma grande procura por soluções de *IP*, originando o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais eficazes. Nas instalações atuais, as lâmpadas mais usadas são as de vapor de sódio. Contrariamente à eficiência energética, a eficiência luminotécnica por vezes não é tida em conta, uma vez que o *IRC* não é o melhor, e o seu arranque é demorado. Outra desvantagem da tecnologia mais usual reside no facto de, a maioria das lâmpadas não permitir o controlo do fluxo luminoso, ou caso permita, envolve custos abruptamente acrescidos, a eficiência energética desce, e não se consegue por vezes ter o controlo pretendido.

A atualidade da iluminação está agora na era das lâmpadas *LED*, que estão a revolucionar este mercado a nível mundial, pois têm boa eficiência energética e fotometria.

## 2.3 Técnicas de iluminação

Em seguida serão apresentadas as técnicas de suporte aos sistemas de iluminação, que foram criadas ao longo dos tempos na era da eletricidade.

### 2.3.1 Incandescentes

Tendo sido a primeira tecnologia de iluminação a ser comercializada, as lâmpadas incandescentes (figura 2.1) prevaleceram em produção por mais de 100 anos. Uma vez em funcionamento, o seu filamento espiral é atravessado por uma corrente, tornando-o incandescente, e assim produzindo luz visível. Este filamento encontra-se num invólucro onde existe uma mistura de gases inertes (árgon e nitrogénio). Outra das características desta estrutura é o facto de ter de possuir um elevado ponto de fusão. Por essa razão,

geralmente são usados filamentos de tungsténio, visto este ser um metal com ponto de fusão de cerca de  $3400^{\circ}\text{C}$ .



Figura 2.1: Exemplo Lâmpada incandescente da marca OSRAM 40W.

De referir ainda que a solução de iluminação em causa apresenta um rendimento péssimo, devido ao facto de apenas 8% da energia elétrica usada ser efetivamente transformada em iluminação. Este tipo de iluminação, já foi há muito retirada da via pública, mas nas habitações era ainda bastante usado até há bem pouco tempo. Devido a este enorme desperdício, a União Europeia optou por retirar estas lâmpadas do mercado a partir de 2012.

### 2.3.2 Vapor de mercúrio

O tipo de lâmpada ilustrado na figura 2.2 faz uso do mercúrio no estado excitado para produzir luz elétrica. Para iniciar o seu funcionamento necessitam, para além do balastro, de um arrancador, que geralmente se encontra embutido na própria lâmpada.



Figura 2.2: Exemplo Lâmpada Vapor de mercúrio de alta pressão da marca OSRAM.

Têm a vantagem de ser bastante eficientes e oferecem uma capacidade de reprodução das cores reais mais eficaz que as lâmpadas de vapor de sódio de baixa e alta pressão. Apesar de apresentarem uma maior durabilidade, a sua eficiência luminosa decresce cerca de 50% a cada 5 anos.

A União Europeia estipulou limitações nos miligramas de mercúrio e proibição em outras lampadas deste tipo[11]. Como exemplo de proibição tem-se as *HPMV* que a partir de 13 de abril de 2015, deixam de ser comercializadas, já que recorrem a um metal tóxico.

### 2.3.3 Iodetos Metálicos

A lâmpada de iodetos metálicos é tida como um avanço tecnológico da lâmpada de mercúrio, na qual são usados iodetos metálicos, tais como iodetos de sódio e escândio.



Figura 2.3: Lâmpada de iodetos metálicos.[3]

Sendo o seu preço elevado, estas são usadas apenas em sítios que necessitam de um melhor desempenho ao nível da eficiência e do *IRC*.

Pelo facto de apresentar uma impedância interna elevada, esta lâmpada necessita do seu arranque, de um componente denominado arrancador, que eleva a tensão elétrica da rede. Para além disso, é indispensável a existência de um balastro que limite a corrente de alimentação e de um possível condensador para eliminar a energia reativa localmente.

Também para este tipo de iluminação existem balastros ferromagnéticos e eletrónicos, sendo que estes últimos não precisam de arrancador nem de correção do fator de potência (quase não geram energia reativa) e são muito mais eficientes. De referir que tanto as lâmpadas de vapor de mercúrio como as de iodetos metálicos, devem possuir um filtro que evite a propagação da luz ultra-violeta, de modo a evitar problemas sérios de saúde, nomeadamente, na pele e nos olhos.

### 2.3.4 Vapor de Sódio

Esta opção de *IP* é a mais usual nos tempos que correm, estando a ser progressivamente substituída pelas lâmpadas *LED*, que apresentam preços cada vez mais apelativos. Para produzir luz recorrem a descarga de gases em altas ou baixas pressões e são conhecidas por apresentarem uma boa eficiência energética. Para funcionarem, necessitam de um equipamento auxiliar, denominado de balastro.



Figura 2.4: Lâmpada de Vapor de Sódio de baixa e alta pressão respectivamente.[3]

As de baixa pressão são constituídas por um invólucro de vidro, revestido por uma fina camada de material transparente para a luz visível, refletora da gama de infravermelhos e que retém o vácuo. Este invólucro é necessário para criar a atmosfera necessária para a formação de plasma de vapor de sódio, útil para gerar a luz visível e infravermelha. Apesar da eficiência energética ser boa, o *IRC* dado por esta tecnologia é baixo.

Relativamente às lâmpadas de alta pressão, tem um espectro visível mais alargado, devido à introdução de mercúrio, conseguindo assim um melhor *IRC* (graças as altas pressões existentes que permitem aumentar a largura de banda de emissão originando melhor *IRC* , na ordem dos 85).

De referir que tanto as lâmpadas de alta como as de baixa pressão, necessitam de um gás ionizável para desencadear o arranque, sendo normalmente usado o xénon em muito baixa pressão e também é possível a variação do fluxo luminoso, com recurso a balastros eletrónicos.

### 2.3.5 Led

Embora ainda não se conheça tudo acerca deste tipo de iluminação, pois têm surgido frequentemente novas informações acerca da vida útil, materiais e propriedades dos *LED*, crê-se que este é o novo tipo tecnologias de iluminação.



Figura 2.5: Conjunto *LED* Philips de 11000 *lm* (117W) @ 80C - CXA3070LED.

Estes são semicondutores (diodos) que quando atravessados por corrente elétrica, convertem a energia elétrica em radiação eletromagnética visível, emitindo luz. Dependendo dos materiais utilizados na produção, esta luz pode ser de qualquer uma das cores saturadas do espectro visível.

Estima-se que o tempo de vida útil dos *LED*, ou seja, o tempo que o fluxo luminoso leva em média, a cair para 70% do seu valor inicial seja de 50.000 horas[12], contudo, existem inúmeros fatores dos quais se destacam a potência, a temperatura interna e, consequentemente, a temperatura ambiente, que fazem variar este valor.

Os com uma temperatura da cor de 2700 a 4000 *K* (mais vulgarmente usados) estão disponíveis no mercado com rendimentos de 120 *lm/W*. O *IRC* dos *LED* é comparável ao das lâmpadas fluorescentes e varia entre os 60 e 98, dependendo da temperatura de cor[12].

Ao contrário das lâmpadas de vapor de sódio ou iodetos metálicos, que necessitam de algum tempo até atingirem o fluxo luminoso máximo, estes reagem com um periodo de tempo muito reduzido às alterações na fonte de alimentação.

Dispondo de uma vasta e eficiente amplitude de regulação (de quase 0% a 100%), os *LED* podem ser controlados dinamicamente, com base nos métodos de regulação normalizados, como o *DALI* ou *LED driver* de *PWM*, sendo assim altamente indicados para

ambientes programados e dinâmicos. Estima-se que em média, cerca de 35% da energia é convertida em luz visível e 65% em calor no interior do componente (dissipação)[12]. Desta forma, é fácil perceber que a gestão de temperatura (refrigeração) constitui o ponto fulcral do desenvolvimento de luzes *LED* de elevada qualidade. Conclui-se portanto, que a diminuição da temperatura, para além de prolongar o tempo de vida útil dos *LED*, contribui ainda para um aumento do rendimento luminoso dos mesmos. Os *LED* não são apenas fontes de luz eficientes, funcionam também perfeitamente em conjunto com sistemas de regulação de iluminação. Esta combinação assegura um elevado potencial de poupança.

Sendo um tema bastante atual, vários estudos económicos têm sido feitos sobre os benefícios da aplicação da iluminação *LED* à escala mundial. O Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, afirma mesmo que poderiam ser poupados biliões de dólares por ano, em custos energéticos em iluminação, a partir de 2030, caso de optasse por este tipo de iluminação[13].

### 2.3.6 Resumo das tecnologias de iluminação

Concluída a análise dos vários tipos de iluminação vulgarmente usados na via pública, segue-se um resumo com base no rendimento, temperatura de cor, índice de restituição de cor e vida útil dos sistemas estudados.

Tabela 2.1: Características das lâmpadas abordadas anteriormente.[1]

Lâmpada	lm/W	K	IRC	h
Incandescentes	10 - 16	240 - 3100	aprox 100	1000
Vapor mercúrio	25-65	2900 - 5700	15 - 62	6000 - 28000
Iodetos metálicos	47 - 105	3000 - 6500	65 - 92	6000 - 20000
Vapor Sódio baixa pressão	< 200	1800	0	10000 - 16000
Vapor Sódio alta pressão	70 - 140	1900 - 2500	21 - 83	5000 - 28000
LED	50 - 120	2700 - 6500	60 - 90	15000 - 50000

## 2.4 Soluções existentes

Relativamente às tecnologias já existentes, são muitos e de muitas marcas as soluções/produtos apresentados nesta dissertação. Existem no mercado sistemas de controlo, que permitem a gestão da iluminação com recurso a um relógio astronómico, relógio simples, variáveis de tempo real, monitorização local ou até mesmo controlo remoto.

Neste capítulo serão dadas a conhecer soluções de diferentes fabricantes, e no final, será feita uma síntese das funcionalidades mais importantes, e as principais serão implementadas no protótipo.

### 2.4.1 Philips - AmpLight

*AmpLight* é um sistema de controlo das luminárias públicas disponibilizado pela *Philips*[14]. Neste sistema, a comunicação entre o Servidor *AmpWeb* e cada um dos setores pode ser estabelecida através de *GPRS/GSM*, *Wi-Fi*, fibra ótica, *SMS*, ou *ethernet*. Entre as diversas vantagens apresentadas por esta solução, destacam-se:

- Controlo central
- Monitorização completa
- Regulação
- Medição remota
- Medição da tensão de rede

#### Módulo Central - *AmpLight CPU*

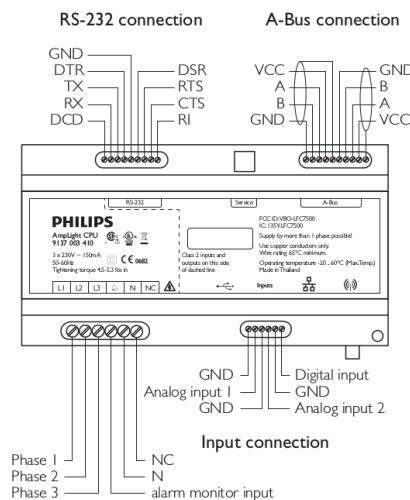


Figura 2.6: Hardware usado no *AmpLight CPU* da *Philips*.

Sendo o módulo principal, é responsável por realizar o controlo de diagnóstico interno e histórico de eventos. Este para além de vigiar a tensão das três fases de corrente, executa também e de forma automática, tarefas a partir das configurações feitas pelo usuário. Os dados podem ser armazenados localmente ou enviados de imediato para o servidor, dependendo do caráter de informação.

#### Módulos Secundários

Os módulos apresentados de seguida comunicam com o módulo *CPU* numa interface A-bus. Sendo uma interface baseada na porta industrial RS485, é também usada para a alimentação entre módulos[15].



### *AmpLight Switch*

Este módulo incorpora dois relés de 3 e 10 A e funciona em conjunto com o *AmpLight CPU*, possibilitando as funcionalidades de ligar/desligar. Estes são galvanicamente isolados e em caso de controle de cargas maiores, tem de se adicionar um contator. Um dos relés tem o contato *NO* e *NC* e o outro apenas *NO*.

### *AmpLight Current*

Usado para fins de monitorização, este módulo permite a medição de corrente da instalação, assim como deteção de fugas à terra, falhas de energia, cabos cortados, lâmpadas fundidas, etc. Estes problemas são comunicados ao processador central.

### *AmpLight MBUS*

De uma forma simplista, o *AmpLight MBUS* tem como função recompilar as leituras de dados, para serem posteriormente transferidas ao *AmpLight CPU*. Este módulo permite adicionar uma interface de comunicação bidirecional, com os equipamentos de medição de energia de outras marcas. Podem ser ligados até 10 medidores com o protocolo *MBUS*.

### *AmpLight RS485*

Assim como o *AmpLight MBUS*, o *AmpLight RS485* tem como função recompilar as leituras de dados para serem, posteriormente, transferidas ao *AmpLight CPU*. Este módulo permite adicionar uma interface de comunicação bidirecional com os equipamentos de outras marcas. Podem ser ligados até 256 dispositivos sobre a porta *RS485*.

### *AmpLight Battery*

Em caso de corte da energia elétrica, este módulo garante a comunicação com o servidor central. A alimentação do barramento A-bus é mantida, permitindo o processador central enviar dados para a central, assim como um aviso de falha de energia.

### *AmpLight Guard*

Este equipamento permite proteger o módulo *AmpLight CPU* de sobre-tensões (picos de tensão de até +/- 6KV). O módulo consite em quatro fontes independentes, tendo cada uma uma proteção térmica.

## **Configurações Disponíveis**

O sistema *AmpLight* está disponível em três tipos de configurações:

- **BASICA**: os módulos *CPU* e *switch* são usados para ligar/desligar o setor. Segundo o fabricante, são possíveis poupanças na ordem dos 8 a 10%.
- **DIMMING**: possibilidade de regulação da intensidade luminosa do setor pelo uso dos módulos *CPU* e *switch*. De acordo com o fabricante, esta solução permite poupanças na ordem dos 35%.

- *MONITORING*: Permite monitorizar falhas ocorridas no quadro elétrico; fornece informação referente a sobretensão; reporta vários tipos de falhas, como sendo, falhas de alimentação do setor, dos circuitos do quadro elétrico e das lâmpadas de um determinado setor, e envia um aviso para a plataforma *web*.

#### 2.4.2 Philips - StarSense

Disponibilizado pela Philips, *StarSense*[16] é um sistema de monitorização, controlo e diagnóstico das luminárias públicas que pode ser encontrado em dois tipos de arquiteturas: *Wireless* e *Powerline*. Enquanto *Wireless* é baseado numa comunicação bidirecional usando tecnologia sem fios, *Powerline* usa o protocolo *Lon Works*.

##### *StarSense - Wireless*



Figura 2.7: Hardware usado no sistema *StarSense Wireless* da Philips.

O sistema *Wireless* é constituído por um Controlador de Segmento (SC), um modem opcional *GSM/GPRS* e por Controladores de Luminária de Exterior (OLC).

#### Controlador Central

Permitindo controlar cerca de 2500 pontos de luz, este sistema envia a informação recolhida dos OLC ao servidor, pela internet, através de uma comunicação de dados *GPRS*. Outra característica importante deste equipamento é que possibilita uma atualização do *firmware* pela internet.

O Controlador Central é composto por uma unidade de processamento com *cartão compact flash*, fonte de alimentação, módulo *RF* (IEEE 802.15.4 a 868 MHz) e antena de disco.

#### Controlador de Luminária de Exterior

Comunicando com o SC por *Wi-Fi*, mediante sinais *RF*, até uma distância máxima de 300 metros, este módulo permite ligar/desligar o balastro ou fonte de alimentação por relé, regular a intensidade luminosa e detetar falhas na lâmpada.

A regulação da intensidade é efetuada por sinal analógico de 1-10 volts ou segundo o protocolo *DALI*. Possibilita ainda registar as horas de funcionamento e consumo de

energia. Os OLCs comunicam com os SCs através de uma rede, o que significa que cada OLC tem a capacidade de receber e transmitir mensagens.

### *StarSense - Powerline*



Figura 2.8: *Hardware* usado no sistema da *Philips*.

O sistema *Powerline* é baseado no protocolo *LonWorks®*, que funciona sobre a tensão alternada da rede elétrica. Tratando-se de um protocolo aberto que opera em soluções de controlo de iluminação exterior, permite aos consumidores escolher entre uma variedade de soluções apresentadas pelos diversos fabricantes.

### **Controlador Central**

Este equipamento controla até 140 luminárias de exterior (OLC) ligadas à mesma rede elétrica e envia a informação para um servidor remoto através de uma conexão *TCP/ip*. Permite ainda comunicar com outros dispositivos que se encontrem no quadro de comando uma vez que incorpora diversas entradas e saídas.

### **Controlador de Luminária de Exterior**

As funcionalidades e características dos OLCs do *Powerline* são similares às dos OLCs do sistema *Wireless* com a diferença que, aqui, a comunicação dos OLCs ao SC faz-se através de uma linha elétrica e não por *Wi-Fi*. De referir ainda que este equipamento dispõe de uma entrada digital para conectar um sensor de movimento.

### 2.4.3 Philips - City Touch

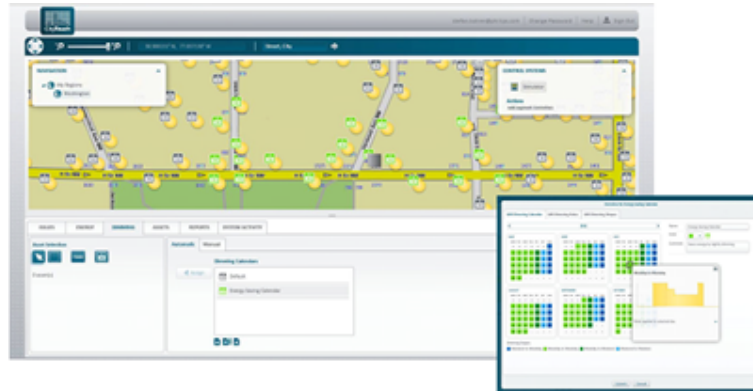


Figura 2.9: Plataforma *City Touch* da *Philips*.

*City Touch* é uma Plataforma *web* que permite dar informações, em tempo real, do estado da iluminação de uma cidade, assim como do uso energético realizado. Possibilita, ainda, a programação online do nível de luz, a comunicação automática de falhas e apresenta um ambiente gráfico simples e apelativo baseado no mapa da zona.

### 2.4.4 Siemens

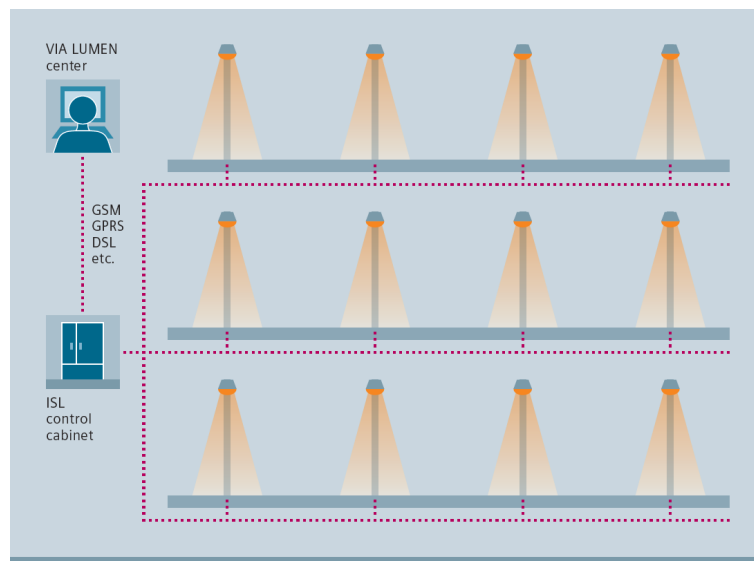


Figura 2.10: Arquitetura da solução *Siemens*.

Nesta solução, todos os módulos eletrónicos são concentrados numa cabine (caixa) de circuitos. Sendo composto por uma variedade de entradas (permitindo, por exemplo, ligar um interruptor de porta), e saídas (tornando possível, entre outros, ligar os controladores de carga dos ramais a serem controlados), o controlador *PLC Simatic S7 1200* é o coração desta cabine[17].

Integrando medidores de energia para a potência ativa, diferença de potencial, fator de potência e reportando estas medições para a central de controlo, este equipamento tem a capacidade de controlar até 10 ramais de luminárias. Visto dispor de uma *RTC*, estes circuitos podem ser colocados a *halfnight* ou *fullnight operation*, separadamente e permitem definir exceções (festivals de rua, eventos, etc.). A comunicação com o centro de controlo é efetuada por *GPRS*, cabo *ethernet* ou fibra ótica.

Como este equipamento permite a integração de um sensor de luminosidade, e também a interligação com os sistemas de controlo de tráfego automóvel nas ruas, torna-se, assim, possível regular a intensidade luminosa de cada área, consoante as suas necessidades.

Caso o controlador de rua não consiga efetuar conexão com o centro de controlo remoto, o primeiro opera com os perfis de intensidade armazenados em sintonia com o calendário astronómico integrado, para cada data e estação do ano.

Segundo a *Siemens*, esta solução de iluminação permite poupanças energéticas na ordem dos 64%[17].

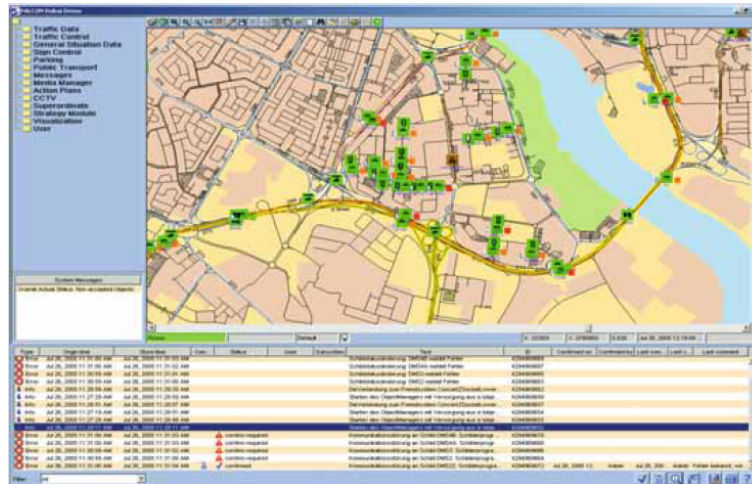


Figura 2.11: Plataforma de controlo *VIA LUMEN* da *Siemens*.

A plataforma de controlo, para além da iluminação, permite integrar a gestão de tráfego automobilístico (tema que não será abordado nesta dissertação). Permite dar informações, em tempo real, do estado da iluminação dos ramais e do uso energético realizado. Para além disso, possibilita a programação da tabela de horários da iluminação, comunicação automática de falhas, entre outros. Apresenta um ambiente gráfico simples e apelativo, baseado no mapa da zona.

#### 2.4.5 Osram

Disponibilizado pela *Osram*, o sistema descrito à frente permite a monitorização, controlo e diagnóstico das luminárias públicas, podendo, no entanto, ser encontrado apenas em luminárias que comunicam por *Powerline*. Na Figura 2.12 encontra-se descrito um possível perfil de arquitetura de funcionamento deste sistema disponibilizada nos catálogos da própria marca[18].

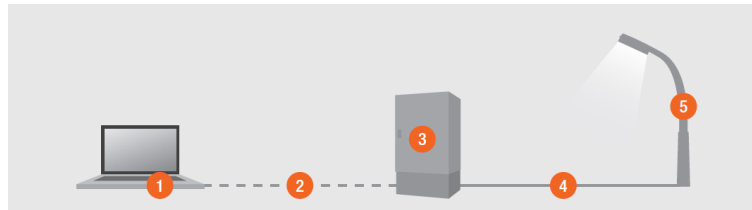


Figura 2.12: Exemplo da Arquitetura usada pela marca *Osram*.

1. *SLC software*: permite a administração, programação e análise da rede de luminárias. O *software* pode ser instalado localmente ou numa *cloud* e, dependendo do utilizador, as funcionalidades vão variando no programa. Possibilita a criação de vários calendários, divisão e seccionamento das lâmpadas em grupos, ou até individualmente, e ainda admite a estipulação de exceções ocasionais, como por exemplo festas ou eventos, alterando, assim, as predefinições realizadas anteriormente. Gera avisos imediatos quando ocorrem avarias e grava, automaticamente, a informação de todos os componentes, permitindo exportar do programa e auto enviar por correio eletrónico, caso se pretenda. Por todas estas razões, o fabricante afirma que se trata de um software bastante intuitivo.
2. *ip*: a comunicação entre o *SLC software* e o *SLC Gateway*, que se encontra na rua, é efetuada via conexão *ip* com vários meios possíveis, com ou sem fios (*GPRS*, *Ethernet*, fibra ótica, etc).
3. *SLC Gateway*: colocado dentro de uma cabine, processa, armazena e retransmite comandos. Opcionalmente, podem ser conectados medidores, *relays* ou sensores de luminosidade. Fazendo uso de uma interface *MODBUS (rs485)*, controla e lê dados de até 200 controladores de luminárias SLC. Por último, importa referir que o setup é feito com o software SLC.
4. *POWERLINE*: meio usado para estabelecer a comunicação entre o *SLC GATEWAY* e as luminárias. Faz uso dos cabos da alimentação elétrica *AC*, não necessitando de intervenção profunda na instalação, nem rádios *RF* para comunicação sem fios, evitando assim as falhas de comunicação que ocorrem quando as condições meteorológicas são desfavoráveis. Aplica a norma *standard ISO/IEC 14908*, possibilitando, assim, incorporar sistemas de outras marcas.
5. *SLC-luminaire Controller / SLC-Pole Controller*: monitoriza e controla cada luminária individualmente. Permite o acionamento e/ou variação do fluxo luminoso (1-10 V ou *DALI*).

O fabricante afirma que, com este equipamento, é possível obter poupanças energéticas na ordem dos 50%[18].

### 2.4.6 *TecIt*

#### *Smart-Li*

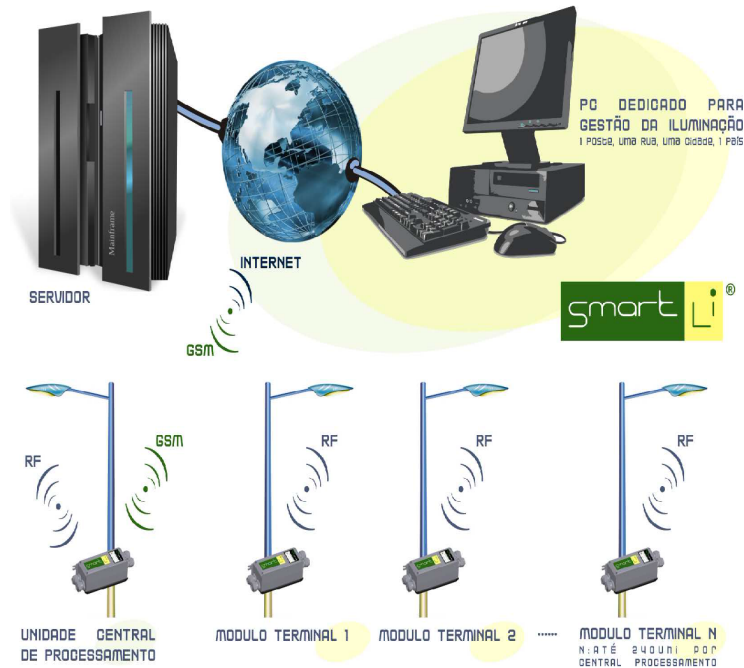


Figura 2.13: Exemplo da arquitetura desenvolvida pela *TecIt*.

Disponibilizado pela *TecIt*, *Smart-Li* é um sistema de monitorização, controlo e diagnóstico das luminárias públicas que possibilita o controlo individual de cada luminária. O fabricante afirma que, com este equipamento, é possível obter poupanças energéticas na ordem dos 40% a 70%[5], tendo como termo de comparação instalações com tecnologia *HPS* de geração anterior, e que, nos dias que correm, são as que se encontram na maioria dos locais públicos.

Cada luminária tem um módulo terminal que comunica por *RF* (*zigbee*) com os pontos de iluminação circundantes e é responsável pelo controlo dos vários sensores e lâmpada.

Este sistema tem integrado um sensor de deteção de movimento que aumenta a quantidade de luz necessária na rua, aquando da deteção do movimento. Permite ainda a gestão horária e/ou por luminosidade e o controlo *on/off*.

Este equipamento foi desenvolvido para controlar a intensidade de iluminação de lâmpadas *LED* e pode fazê-lo de duas formas: *PWM* 0-10V e *DALI*.

Possibilitando a monitorização real do consumo por luminária e o envio de avisos notificados de avaria, temperatura excessiva e vandalismo, este equipamento tem, ainda, a valência de suportar, em modo opcional, a integração de um sensor de pancada que, em caso de embate, envia uma mensagem de aviso, e de um sensor de leitura da corrente elétrica consumida pela própria luminária (medidor real da potência que respeita as normas internacionais IEC 60687, IEC 61036e IEC 61268)[5].

Um dos pontos de iluminação fica com o módulo central de processamento que, para além das funcionalidades acima descritas, permite comunicar, por *GSM* (*GPRS*), com

um servidor na *internet*. Por fim, existe um computador dedicado à gestão da iluminação de determinada zona.

## 2.5 Resumo

Concluída a análise dos vários sistemas de controlo de iluminação pública, segue-se um resumo das principais características dos sistemas estudados. Na pesquisa foram identificados dois tipos de sistemas de controlo e monitorização: por ramal e ponto a ponto.

Para o controlo da luminosidade existem, essencialmente, duas opções: controlo *on/off* e regulação do fluxo luminoso. Nesta última, a intensidade luminosa pode ser controlada por sinal analógico ou protocolo *DALI*, ou *PWM*.

No que toca a hardware adicional, as soluções podem vir equipadas com:

- Sensor de tensão de rede;
- Sensor de corrente;
- Sensor da luminosidade;
- Sensor de pancada;
- Sensor de deteção de movimento;
- Relógio *RTC*;
- Interruptor de porta;

Quanto às características adicionais, as soluções podem:

- Possibilitar a actualização online de software dos pontos de iluminação;
- Mostrar um mapa com as luminárias na plataforma;
- Auto-enviar emails a notificar avarias;
- Comunicar com equipamentos de outras marcas (exemplo RS485);
- Interligar com os sistemas de controlo de tráfego automóvel.

As soluções estudadas usam diferentes tecnologias de comunicação, sendo as mais comuns *GSM/GPRS*, na comunicação *TCP/ip* com a plataforma *web*, e os sinais *RF* ou *Powerline*, para a comunicação entre pontos de iluminação.

As soluções analisadas permitem controlar entre 140 a 2500 luminárias.

No geral, conseguem-se poupanças desde os 8%, em soluções com módulos *on/off* por ramal, até aos 70%, com sistema de controlo ponto a ponto com regulação do fluxo luminoso e lâmpadas *LED*. De referir que estes valores foram calculados tendo por base uma determinada rede de iluminação, sem qualquer tipo de controlo instalado, em comparação com a mesma rede equipada com o sistema inteligente proposto pelo fabricante.



## 2.6 Legislação associada á iluminação da via Pública

Em Portugal, a iluminação pública é responsável, atualmente, por cerca de 3% do consumo energético. Este valor tende a aumentar (cerca de 4 a 5% ao ano), o que representa custos avultados para os Municípios[19].

Nos dias de hoje, para realizar um projeto de *IP* é necessário cumprir requisitos impostos pelas entidades governamentais europeias, que visam o cumprimento dos resultados esperados, em termos de iluminação, para um determinado sitio.

A norma EN 13201, aplicável a Projetos de iluminação pública, encontra-se dividida em quatro partes:

- EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação; Esta escolha varia consoante o tipo de via e é efetuada consultando as tabelas correspondentes, que, dependendo dos parâmetros da via em estudo, dá origem a uma classificação da mesma.
- EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados; Estes parâmetros são definidos tendo em conta a classe de iluminação.
- EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos; Estes parâmetros são calculados tendo por base a EN 13201-2 e correspondem à qualidade da iluminação da via em questão.
- EN 13201-4: Métodos de medida das performances fotométricas; Por fim, esta parte da norma especifica o modo como se efetuam as medições fotométricas na iluminação pública.

A *ADENE*, em colaboração com outras entidades, criou um documento de referência[20], que tem por base a norma europeia EN13201 e a norma internacional CIE115:2010, onde são estabelecidos critérios a ter em consideração num projeto de *IP*. Com estes critérios, pretende-se uma redução dos consumos de energia sem pôr em causa os níveis necessários de iluminação nas diferentes situações.

## Capítulo 3

# Arquitetura e tecnologias para a Solução

Neste capítulo começa-se por fazer uma descrição global da arquitetura do protótipo proposto, explicando o processo de interação entre os vários elementos chave.

É importante que qualquer sistema de monitorização possua um grande número de funcionalidades, para que, assim, se consiga tirar o máximo proveito de uma implementação deste tipo.

O protótipo desenvolvido é constituído, essencialmente, por duas partes distintas: uma referente à zona das luminárias, constituída pelos módulos *Master* e *Slave*, e outra responsável pela interação com o utilizador, através de uma página *web* e fazendo uso dos dados recolhidos. Na figura 3.1 encontra-se representada a arquitetura da solução proposta.

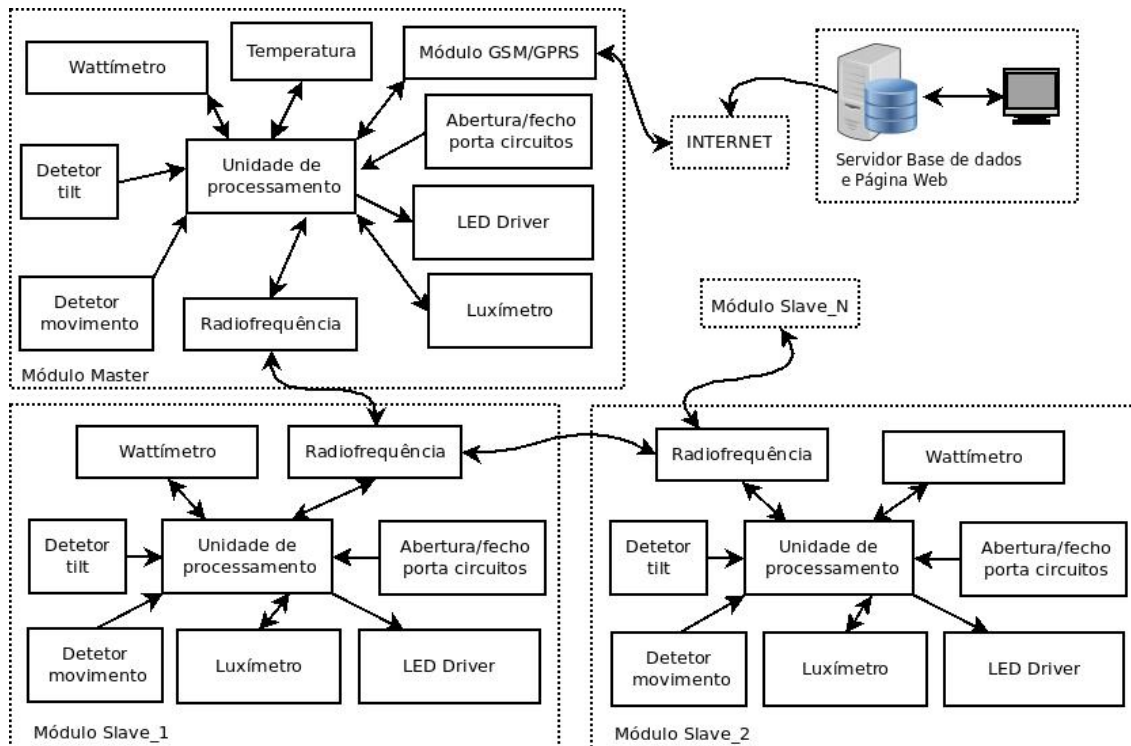


Figura 3.1: Ilustração Geral do sistema proposto pelo autor.

Os diferentes módulos apresentam as seguintes funções:

- Radiofrequência - estabelece a comunicação, sem fios e em modo cascata, entre as luminárias da instalação;
- Temperatura - é o módulo onde se encontra o sensor térmico, que irá adquirir a temperatura ambiente nas imediações da luminária *master*, enviando-a, posteriormente, para o Servidor *web*;
- Abertura/Fecho circuitos - é o módulo responsável por indicar o estado da porta de circuitos da luminária. Caso seja ativado, será enviado um aviso para o servidor *web*;
- Unidade de processamento - responsável por tratar toda a informação adquirida nos diferentes módulos sensoriais, assim como controlar o fluxo luminoso, e realizar as comunicações sem fios (radiofrequência e *GSM/GPRS*);
- Módulo *GSM/GPRS* - responsável por comunicar e registar os dados num servidor *online*. Esse arquivo é realizado numa base de dados que permite guardar um histórico e ser consultado através de uma página *web*;
- Detetor *tilt* - responsável por aferir a inclinação da luminária, tendo como base um determinado estado estacionário. Caso seja ativado, é enviado um aviso para o servidor *web*;

- Detetor de movimento - responsável por aferir deslocações na zona de iluminação. Quando acionado, irá colocar o *LED driver* no máximo e enviar uma mensagem para repetir o mesmo procedimento nas luminárias vizinhas;
- Wattímetro - responsável por medir o consumo de energia da luminária. Deve mensurar a corrente e a diferença de potencial e enviar o valor para o servidor *web*;
- Luxímetro - responsável por determinar o grau de claridade da zona superior à luminária para, assim, se poder satisfazer as necessidades da área;
- *LED driver* - responsável por gerir a potência das lâmpadas *LED* da luminária;
- Servidor base de dados - placa de baixo consumo responsável pela gestão da base de dados e página *web*;

A página *web* pode ser acedida, com recurso a um *browser*, num computador ou dispositivo móvel ligado à *internet*, e a informação a ser observada é retirada da base de dados criada para o efeito.

Esta página servirá para o seguinte:

- Registo da latitude e longitude de cada luminária sobre uma aplicação da *google maps*. Assim, na localização geográfica de cada luminária aparecerá um pino, que pode ser de cor verde ou vermelha. No caso de ser vermelho, para além do *ID* da luminária em questão, serão apresentados os erros registados na base de dados. Quando estes forem reparados, pode-se proceder a uma atualização da base de dados, com recurso à página *web*;
- Observação do gráfico com os valores de temperatura ambiente, registados de minuto a minuto, obtidos pelo módulo *master*;
- Vizualização da representação gráfica com os valores de consumo de energia, correspondentes ao mês corrente;
- Registo de períodos horários especiais (exemplo em festas) onde a iluminação obedecerá apenas ao estipulado nesta página. Os dados a introduzir serão o ano, mês, dia, hora, minuto, duração do período especial, e o estado pretendido (ligado ou desligado). Também é possível ligar ou desligar a iluminação em modo manual, ou seja, a iluminação no terreno passa a respeitar a ordem dada pelo utilizador, independentemente da leitura de iluminância obtida.

De seguida são dadas a conhecer diversas tecnologias de suporte, tanto para o servidor *web*, como para os módulos das luminárias no terreno.

### 3.1 Hardware para Servidor *web*

#### 3.1.1 Raspberry

O *Raspberry*, ilustrado na figura 3.2 é conhecido como sendo uma placa poderosa de desenvolvimento, apresentando um baixo custo. Tem como principais características [21]:

- Processador: *Broadcom® BCM2836 de 900 MHz quad-core ARM Cortex A7(ARMv7)[22]*;
- Processador gráfico: *Broadcom VideoCore IV @ 250 MHz*;
- *Memory: 1 GB (shared with GPU)*;
- Portas: 4 *USB* , 40 pinos *GPIO*, *Ethernet*, *HDMI*, *Camera interface(CSI)*, *Display interface(DSI)*, *Slot* cartão *Micro SD*;

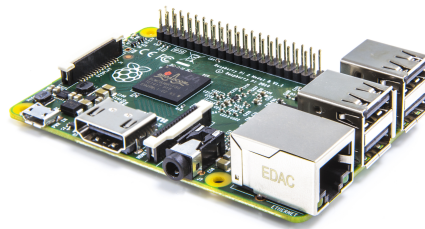


Figura 3.2: Placa desenvolvimento *Raspberry Pi 2*.

Devido à unidade de processamento ser *ARMv7*, nesta placa podem ser instaladas diversas distribuições de *Linux*. Ao contrário de outras placas similares, esta não tem uma memória *flash* fixa nela mesma. A *slot* para cartão *micro SD* tem como finalidade colocar o cartão que tem instalado o sistema operativo escolhido. Quando não tem nenhum dispositivo ligado ao *USB*, uma fonte de alimentação de 1A é suficiente para fornecer toda a energia necessária.

## 3.2 Comunicações

### 3.2.1 Entre luminárias

Como se verificou no estudo das soluções existentes no mercado, a comunicação entre luminárias pode ser com ou sem fios.

Na vertente com fios, o mais indicado é a tecnologia *Powerline*, pelo facto de dispensar a passagem de fios adicionais, já que, para a transmissão do sinal, recorre ao cabo de alimentação *AC*, usado na instalação das luminárias.

Já nas tecnologias sem fios, poderia-se ter usado diversas opções disponíveis, entre elas *ZigBee*, *Bluetooth* e *Wi-Fi*. Por ser bastante mais prática e cómoda, esta forma de comunicação veio revolucionar a partilha de dados entre dispositivos.

De seguida são enumerados alguns aspetos que pesaram na escolha da tecnologia:

- Permitir alcance de conexão até 100 metros;
- A quantidade de dados a transferir por segundo não é um fator relevante;
- Não necessita de fazer uso de baterias;

Nesta dissertação, optou-se por utilizar o sistema *Wi-Fi*, pois, para além dos micro-controladores ESP8266 já o trazerem incorporados (abordado em detalhe de seguida), satisfaz todos os requisitos acima mencionados.

### 3.2.2 GSM/GPRS



Figura 3.3: Módulo para *GPRS* Sim900.

O *modem* SIM900 ilustrado na figura 3.3 que é usado nesta dissertação, permite efetuar a comunicação por RS232 ou *I2C*, conectar altifalante e microfone para realizar chamadas e tem várias Entradas/Saídas possibilitando, por exemplo, colocar um teclado numérico e conectar a um *LCD*.

Para além de enviar/receber *SMS*'s e chamadas, permite criar e ler ficheiros de servidores *FTP* e enviar dados para servidores *TCP*, através de sinal *GPRS*.

A troca de informação entre o microcontrolador e o *modem* é feita através da porta *UART*. Uma das características do *modem* é ter a capacidade de identificar a velocidade de transmissão de dados (*baudrate*), sendo esta, no exemplo em estudo, de 115200bits/s.

Para comunicar com o *modem* usou-se uma espécie de protocolo designado por comandos AT. Estes são uma linguagem orientada por linhas, em que cada comando é, normalmente, constituído por 3 elementos: o prefixo, o corpo, e o carater de fim de comando ou terminação.

Consultando o manual "SIM900 AT"[23], verificou-se que os comandos enviados para o *modem* têm de ser seguidos de *<CR>* sempre no fim da mensagem. Já a mensagem de resposta enviada pelo *modem* vem no seguinte formato: *<CR><LF><response><CR><LF>*.

Este módulo, após estar conectado à energia elétrica, necessita de uma mudança de estado de tensão no pino PWRKEY de cerca de um segundo para deixar o estado de *standby* e ligar-se efetivamente. Nesta dissertação, optou-se por fazer uso do modo *GPRS* e *SMS*. Relativamente ao *GPRS*, é usado para comunicar com o servidor *raspberrypi* e com o servidor *NTP* que permite acertar o *RTC*.

## 3.3 Microcontroladores

Os microcontroladores são componentes eletrónicos muito pequenos, cuja principal vantagem recai sobre o preço, que é cerca de 1 a 2 euros na maioria dos casos. Nestes componentes, o processador, a memória *RAM*, a memória *flash*, as portas de comunicação e, em alguns casos, a *EEPROM*, e o módulo *Wi-Fi* estão integrados num só *chip*.

Estes dispositivos apresentam uma boa *interface* com o meio físico visto terem portas de entrada e saída, que possibilitam a comunicação com outros equipamentos. Neste campo, destacam-se as comunicações *UART*, *SPI*, *I2C*, *CAN*, *USB*, *ethernet*, entre outras.

### 3.3.1 Esp8266 ESP-12



Figura 3.4: Módulo ESP-12 com *chip* ESP8266 e memória *flash*.

O módulo ESP-12 é constituído pelo *chip* ESP8266, da empresa Espressif, e por uma memória *flash*, geralmente de 512 KBytes, que comunica por *SPI*. Este módulo encontra-se representado na Figura 3.4.

O que o torna muito apelativo são essencialmente 3 aspetos, ser barato, bastante pequeno e ter *Wi-Fi* embutido. Apresenta arquitetura *RISC* de 32 bits, opera com frequência de 80Mhz, tem portas *GPIO* que possibilitam implementar comunicações *I2C*, *SPI*, *UART*, *PWM* e uma entrada *ADC* de 10bits de resolução.

Para além de ser possível usar estes módulos como pontes *serial-Wi-Fi* com um *firmware* para comandos AT, também é possível programar com outros, tais como *Node-MCU*, *Arduino*, e até um desenvolvido de raiz, uma vez que o código fonte e os exemplos são disponibilizados pela própria empresa.

## 3.4 Sensores

Os sensores são componentes eletrónicos responsáveis por transformar uma grandeza física noutra.

### 3.4.1 Temperatura

Neste caso, os sensores são responsáveis por converter uma temperatura num sinal elétrico, que pode ser uma corrente ou uma tensão. Existem quatro tipos de sensores principais, usados na medição de temperaturas:

- *RTD*'s;
- Termistores;
- *CI* sensores;
- Termopares;

Na tabela 3.1 encontra-se três exemplos de sensores bastante utilizados.

Tabela 3.1: Características dos sensores de temperatura.

Sensor	Fabricante	Comunicação	Resolução	Amplitude
Pt1000				-50C a 500C
lm35	Texas Instruments	Analog (0-5v)	0,49º C (10 bit)	-55 a 150º C
DS18B20	Maxim Integrated	1-Wire	0,05ºC	-55 a 125ºC

Existe uma diversa panóplia de transdutores de temperatura, desde os mais simples aos mais complexos. Na escolha de um sensor de temperatura, para uma aplicação, deve ter-se em consideração vários fatores, que, se mal avaliados, podem levar a erros inesperados do projeto.

Para este trabalho, foi arbitrado que a amplitude de temperaturas exteriores poderá variar entre os -10ºC e os 70ºC. No projeto, o sensor de temperatura mede apenas a temperatura ambiente, armazenando-a, de seguida, e com alguma regularidade ao longo do tempo. Apenas uma luminária irá medir esta grandeza numa determinada zona.

Optou-se por não efetuar a medição da temperatura dos *LED*'s pelo facto do dissipador de calor ser um equipamento homologado e, por essa razão, vir já da fábrica bem dimensionado, não necessitando de proteções extra para salvaguardar a longevidade dos *LED*'s.

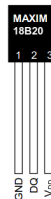
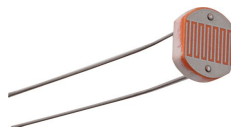


Figura 3.5: Sensor de temperatura DS18B20

O circuito integrado escolhido foi o DS18B20 ilustrado na figura 3.5 da *Maxim*, que é um sensor de baixo custo, permite a saída de dados em formato digital com comunicação *one wire*, e dá a medida já calibrada com uma resolução que vai dos 9 aos 12 bits. Permite ainda ligar vários sensores na mesma porta, uma vez que cada dispositivo tem um endereço, podendo ser endereçado individualmente pelo microprocessador. A sua faixa de temperaturas cobre a amplitude necessária (-55ºC a +125ºC). As suas características, modo de funcionamento, assim como os endereços dos registos da memória estão detalhados no seu *datasheet*[24].

### 3.4.2 Luminosidade

#### *LDR*

Figura 3.6: *Chip LDR* convencional.



Um dos sensores de luminosidade mais usados é o *LDR*, também chamada de foto-resistência. Este componente eletrônico é constituído por uma resistência que varia conforme a luminosidade incidente sobre a sua superfície. Quanto maior a luminosidade, menor a sua resistência interna. Com recurso a um simples divisor resistivo, consegue-se obter uma diferença de potencial, que varia consoante a resistência interna do *LDR*.

### BH1750



Figura 3.7: *Chip* sensor de referencia bh1750

Este tipo de sensores são usados, por exemplo, em telemóveis.

Sendo um dos sensores digitais de iluminância mais comuns, o *chip* de referência BH1750 comunica com o processador por meio de uma porta *I2C*. Nesta dissertação optou-se por usar este sensor, excluindo o *LDR*. Tendo como principal função informar da iluminância que se faz sentir na envoltória da luminária, este sensor será aplicado na zona superior da carcaça da mesma para, assim, tentar evitar que a sua luz, e até mesmo das que se encontram ao seu redor, interfiram na medição. Algumas das características mais relevantes deste componente eletrônico são:[25]

- Não necessita de ser calibrado,;
- O módulo é relativamente barato;
- Apresenta uma amplitude de 1 até 65535 *lx*;
- Consome pouca energia, na ordem dos 120uA @ 3 V;
- É bastante imune a interferências;
- Permite seleccionar 3 tipos de resolução (varia de 0,5 *lx* 4 *lx*).

#### 3.4.3 Movimento

A deteção de movimento é uma excelente forma de poupar energia, uma vez que, se não for detetado nenhum movimento, não é necessário que a luminária esteja na sua intensidade máxima.

Relativamente a este campo, existem diversos tipos de detetores, desde o recurso a câmeras de vídeo, a sensores mais simples e economicamente viáveis para este fim.

Nesta dissertação equacionou-se o uso de apenas três tipos de sensores: os de ultra-sons, os *PIR* e os de micro-ondas baseados no efeito *Doppler*.

Os detetores de movimento sensíveis a radiação na gama do infravermelho (*PIR*), são componentes que medem a luz infravermelha irradiada dos objetos que se encontram no campo de visão do sensor.

Os detetores de ultra-sons e de efeito de *Doppler* funcionam com recurso a emissão de ondas que, ao embaterem num objeto, são refletidas e recebidas de novo pelos sensores.

Em ambientes exteriores onde as condições climáticas são, por norma, mais adversas (chuvas e nevoeiros), o uso do detetor de efeito *Doppler* é preferível, visto ser este o mais indicados nestas circunstâncias.

Apesar de não ser muito fiável quando colocado em ambientes exteriores, o sensor *PIR* tem a vantagem de consumir muito pouca energia. Associando a este um sensor de micro-ondas baseado no efeito de *Doppler* consegue-se obter um conjunto final menos suscetível a erros e com baixo consumo energético. Este segundo sensor é acionado unicamente quando o *PIR* deteta algo, funcionando como verificador de possível movimento.

No decorrer desta dissertação, achou-se conveniente adquirir o equipamento ilustrado na figura 3.8. Este, incorpora as duas tecnologias mencionadas anteriormente (*Doppler* e *PIR*) acopladas numa placa de circuito impresso, que inclui também os circuitos amplificadores. Para além disso, origina, à saída, uma variação de resistência que, com recurso a uma resistência *pull-up*, permite que o microcontrolador identifique mudanças de estado, quando é detetado movimento.



Figura 3.8: Equipamento usado para deteção de movimento da marca PARADOX.

#### 3.4.4 Corrente e Diferença de Potencial

Os sensores de corrente e diferença de potencial são essenciais para monitorizar, e até detetar, falhas na iluminação. Existem inúmeros tipos de dispositivos que fazem este tipo de medição, no entanto, neste trabalho foi apenas equacionado o uso de uma resistência *shunt*, com recurso ao circuito integrado INA226 da *Texas Instruments*, e de um circuito integrado ACS712 que mede apenas a corrente baseado no efeito de *hall* (figuras 3.10 e 3.9, respetivamente).

Optou-se pela primeira alternativa visto o *chip* INA226 medir, não só a corrente, mas também a diferença de potencial. Outra das razões para esta escolha foi o facto do sensor de efeito de *hall* fornecer, na saída, uma tensão de valor superior ao permitido pela entrada analógica do microcontrolador ESP8266.

Desta forma, evita-se a necessidade de efetuar cálculos adicionais por parte do microcontrolador, já que há a possibilidade de ler diretamente do sensor o valor da potência consumida.

O tipo de sensor em estudo tem a característica de ser bidirecional, contudo, nesta dissertação vai-se medir uma corrente e diferença de potencial contínua à saída do driver

dos *LED*. Para além desta, apresenta as principais características[26]:

- Mede a diferença de potencial de 0 V a 36 V ;
- Permite leitura de corrente, voltagem e Potência nos seus registos de leitura;
- Tem alta precisão - 0.1% erro de ganho(max);
- Opções de configuração dos tempos de conversão das grandezas medidas e médias de leituras, dando directamente valores matematicamente filtrados;
- Comunica por *I2C*;
- Opera entre 2,7 V e 5.5 V;
- Permite calibração para definir um valor máximo de leitura de corrente, mediante o valor da resistência *shunt* usada;
- Consumo de corrente tipicamente de 330 uA @ 3 V;
- Tem um pino de alertas que pode ser configurado para operar com uma das seguintes funções:
  - Voltagem na resistência *shunt* acima ou abaixo de um limite estabelecido;
  - Voltagem medida estar acima ou abaixo de um limite estabelecido;
  - Potência medida estar acima de um valor estabelecido;



Figura 3.9: *Chip* ACS712.

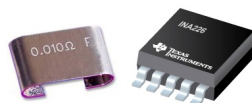


Figura 3.10: Resistência *shunt* e *chip* INA226.

### 3.4.5 Pancada

Caso a estrutura da iluminação ceda por algum motivo, é conveniente que fosse gerado de imediato um aviso a informar. Como a solução desta dissertação passa por existir comunicação entre luminárias, é também interessante aplicar nos postes de iluminação um sensor que permita detetar a queda da estrutura, caso ocorra.

Para a detecção de inclinação considerou-se o uso de 2 tipos de sensores distintos, giroscópio/acelerómetro ou um sensor *tilt*.

O acelerómetro baseia-se na segunda lei de *Newton* para medir a aceleração e o giroscópio usa o princípio de conservação do momento angular para poder medir a orientação do poste de iluminação. Contudo, apesar de bastante preciso, para este caso, é bom e caro demais para o efeito. Uma solução mais básica, mas eficaz para o pretendido, passa pelo uso de um sensor *tilt*.

O sensor *tilt* é um sensor que deteta orientação ou inclinação. Para este caso pretende-se que seja capaz de detetar, caso ocorra, uma inclinação no poste de iluminação. Caso esta se verifique a partir de um certo ângulo, o sistema deve enviar uma mensagem para o servidor *web* e também um *SMS*. É um sensor que não é muito preciso mas que é de baixo custo, baixo consumo e de fácil utilização. O seu funcionamento é muito simples, internamente existem duas pequenas esferas que ao tocarem-se, nos terminais do componente passa a existir continuidade (curto-circuito ou seja resistência muito baixa). Na figura 3.11 encontra-se o sensor usado.



Figura 3.11: Sensor de *tilt* sw -520d

#### 3.4.6 *Switch*

Relativamente ao sensor interruptor, achou-se por bem colocar para identificar um possível assalto a infraestrutura, que seria identificado pela abertura da porta de circuito, na qual está instalado o interruptor que abre o contacto quando a porta se encontra aberta.



Figura 3.12: Sensor *switch* porta

#### 3.4.7 *Driver de Potência LED*

As fontes de alimentação para *LED*'s denominadas no mercado de driver para os *LED*'s, podem ser controladas essencialmente de 3 formas[4]:

- Com uma tensão analógica que varia de 1-10 V, mas nos dias que correm, nem todos os microcontroladores tem uma saída analógica disponível. Contudo em dispositivos que não tem uma saída *DAC*, com recurso ao *PWM* e alguns componentes eletrónicos é possível criar uma tensão analógica variável.

- Com uma onda *PWM* que significa variação por largura de pulso, é usada em aplicações diversificadas, desde sinais digitais a serem transmitidos, controle de potência em motores, conversores *DC/DC*, fontes chaveadas e muitos outros circuitos que recorrem ao *PWM* para o seu funcionamento. Este sinal é processado normalmente por um microcontrolador ou em casos mais específicos por um dispositivo específico para o efeito. Para a maioria dos drivers de *LED*'s de potência, a frequência do *PWM* aceite, varia entre 100Hz até 3kHz, ficando fixa num valor determinado e faz-se apenas variar o *duty cycle* que vai definir o tempo em que o sinal vai estar no nível alto. Na Figura 3.13 mostra o exemplo de 4 sinais *PWM* com a mesma frequência e diferente *duty cycle*.

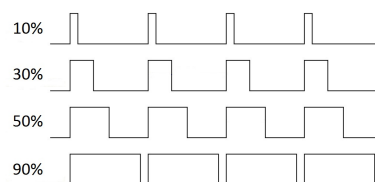


Figura 3.13: Variação do *duty cycle*.

- Com o protocolo de Comunicação *DALI*, que é um protocolo de comunicação standard para o controlo de dispositivos de iluminação. Possibilita a comunicação com até 64 dispositivos[27], podendo estes ser ligados por um cabo não blindado de 2 condutores. A mais-valia, em comparação com a tecnologia analógica convencional 1-10 V, é que a energia liga diretamente os dispositivos *DALI*, não sendo preciso um relé externo, ou seja, com o *DALI*, o *switching* e *dimming* é feito com apenas 2 fios.



Figura 3.14: *LED driver*.

O *driver* de potência existente na luminária fornecida pela empresa D2M, é ilustrada na Figura 3.14. Para o caso desta dissertação optou-se por fazer uso da opção *PWM* pelo facto de poder facilmente implementar uma saída destas no microcontrolador.

## Capítulo 4

# Implementação da solução Proposta

O presente capítulo dá a conhecer todo o processo de desenvolvimento do *hardware* e *software*. Sempre que for conveniente, a explicação dos passos será representada com ilustrações e diagramas, para uma melhor compreensão do trabalho desenvolvido.

Foram criados, essencialmente, dois tipos de módulos de *hardware*, optando-se por chamar de *master* ao que realiza as comunicações com o exterior, e de *slave* ao que equipa as restantes luminárias. Na Figura 4.1, observa-se a forma como foi implementada a solução.

O desenvolvimento dos módulos de cada tipo de luminária é um processo de dimensionamento e junção de diferentes componentes: foi construído um esquema elétrico com todas as peças necessárias, e, através deste, criado o desenho e feita a disposição dos elementos sobre a *PCB*.

Nesta dissertação, os esquemas elétricos e *PCB*'s foram efetuados com recurso ao *software* CadSoft EAGLE PCB. Nos anexos A e B, encontram-se representadas as ilustrações dos esquemas e as *PCB*'s referentes ao módulo *master* e *slave* respetivamente.

É importante mencionar que, teoricamente, a solução proposta está preparada para receber até 256 luminárias. Contudo, com pequenas alterações no código dos *slave* e *master*, é possível aumentar significativamente este valor.

Relativamente ao *software* do servidor *Raspberry*, este tem como objectivo fornecer as ferramentas necessárias para a criação de uma interface entre o *hardware* e o cliente/técnico, responsável pela sua manutenção. Nesta dissertação, a interação é feita através de uma página *web*, capaz de comunicar com a base de dados *MySQL*, também alojada no servidor.

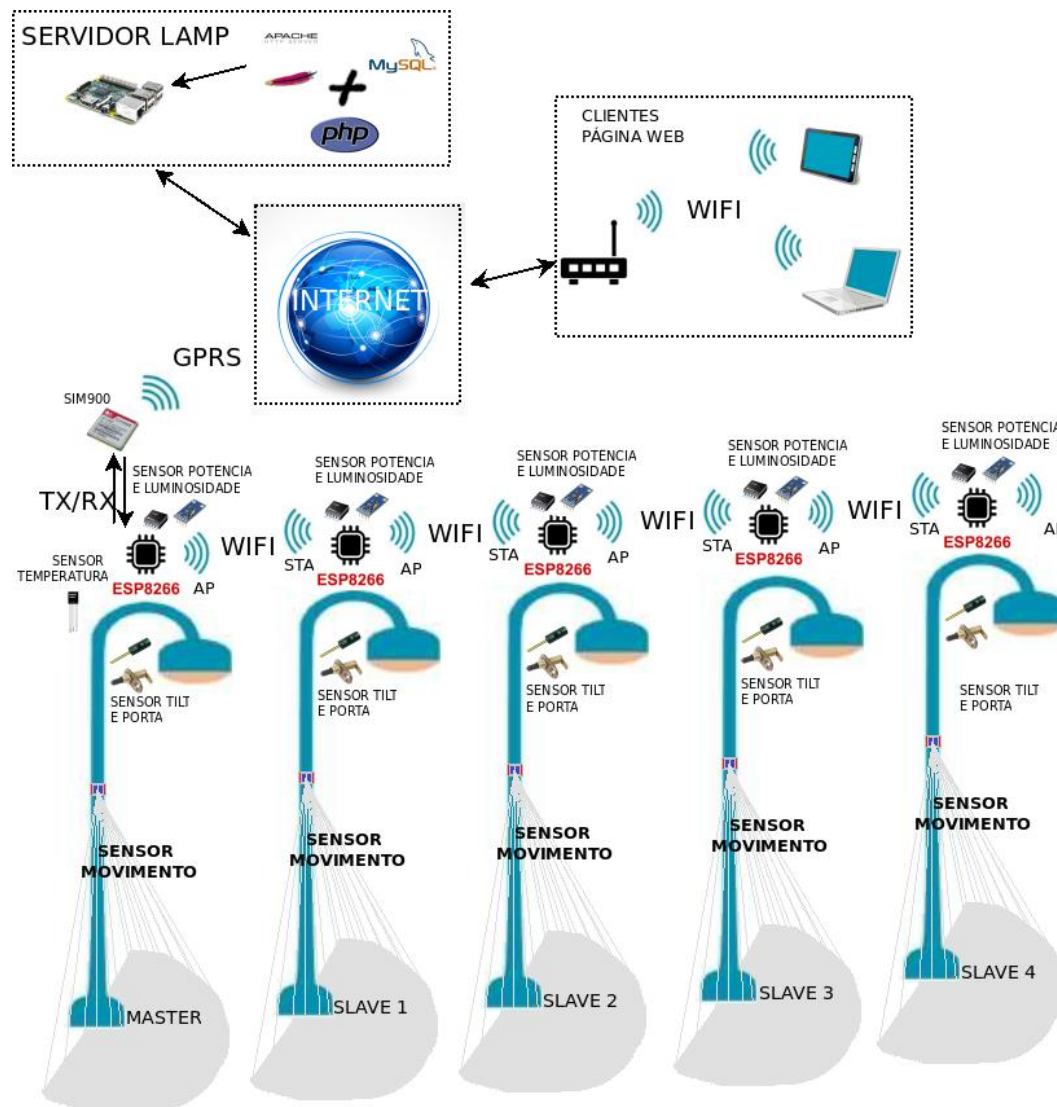


Figura 4.1: Ilustração do *hardware* implementado.

## 4.1 Controlo no terreno

O *hardware* implementado nesta dissertação pode ser separado em diversas unidades, que comunicam via *wireless*. Para efeitos de teste, optou-se por construir, em placas de protótipo, circuitos que simulam cinco luminárias, uma *master* e quatro *slave*.

Nas Figuras 4.2 e 4.3 podem ser observados os *hardware's* implementados nas placas *master* e *slave*, respetivamente.

Relativamente ao fornecimento de energia para todos os circuitos do protótipo, optou-se por usar uma fonte de alimentação de computador que fornece dois positivos. O primeiro, de 5 V, é usado na alimentação do *modem* SIM900 e do *relay* controlado pelo *master*. O segundo, de 3,3 V, alimenta todo o restante protótipo.

Já nas esquemáticas globais, disponíveis nos anexos A, foram incorporados reguladores de tensão. Estes, estão aptos para receber níveis de tensão de entrada compatíveis

com os gerados pelo *driver* de potência dos *LED*'s. Os circuitos foram projetados desta forma com o intuito de usar apenas uma fonte de alimentação nas luminárias *slave*, ficando, assim, o *driver* dos *LED*'s a alimentar os circuitos e a luminária.

A programação de todos os ESP8266 foi efetuada com recurso ao *IDE Arduino*. Com esta ferramenta foi possível compilar e carregar programas para o microcontrolador.

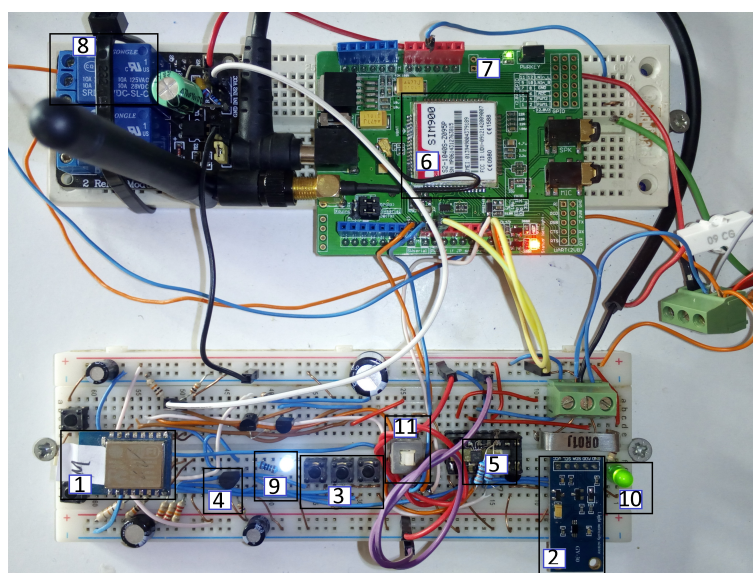


Figura 4.2: Ilustração da placa de desenvolvimento *master*.

Na Figura 4.2, destaca-se, à esquerda, o microprocessador ESP8266 (1), que incorpora o módulo sem fios, o módulo BH1750(2), que faz a leitura da luminosidade ambiente, e três *switch* (3) simuladores do sensor de movimento, pancada e abertura/fecho da porta de circuitos. Ainda acerca dos sensores, tem-se o de temperatura DS18B20(4), e o de corrente e diferença de potencial INA226 (5).

Na parte superior, à direita, encontra-se ilustrado o *modem* SIM900(6) e a pilha do relógio interno do *modem* (7), cuja funcionalidade é a de alimentar o oscilador temporal. Na parte superior esquerda tem-se um *relay*(8) que simula o real, isto é, o que irá acionar as fontes de alimentação dos *slaves* e *LED*'s de iluminação do *master*.

O *LED* transparente (9) simula os *LED*'s da luminária e o verde (10) identifica a presença de alimentação no circuito. Por fim, o interruptor (11) serve para comutar entre o modo de programação do microcontrolador e o *modem*.



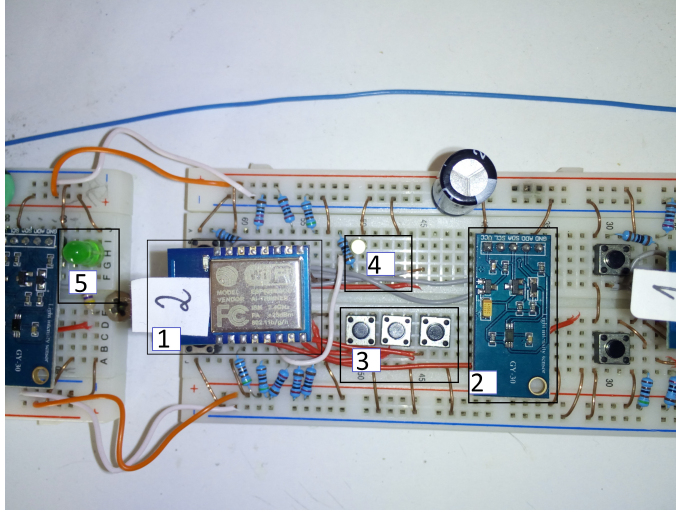


Figura 4.3: Ilustração da placa de desenvolvimento do *slave* 2.

Assim como na placa de desenvolvimento *master*, na *slave*, ilustrada na figura 4.3, destaca-se o microprocessador ESP8266(1), o módulo BH1750(2) e os mesmos três *switch*'s(3).

Apesar de não estar implementado fisicamente como no módulo *master*, o sensor de corrente e diferença de potencial INA226 está apto a ser incorporado na solução, visto o código ter sido desenvolvido nesse sentido, assim como a respetiva *PCB*. Os *LED*'s transparente e verde, (4) e (5), servem o mesmo propósito que anteriormente.

#### 4.1.1 Troca mensagens com o modem *GSM*

Para a comunicação com o modem SIM900, o ESP8266, presente no módulo *master*, utiliza a porta *UART*, por uma comunicação RS232. Apesar de o *modem* auto-detetar a velocidade de transferência de dados, foi usada a taxa fixa de 115200 bps.

Por forma a minimizar o número de comandos AT utilizados, antes de colocar o cartão *SIM* no socket do modem, foi removido, recorrendo a um telemóvel, o seu número pin.

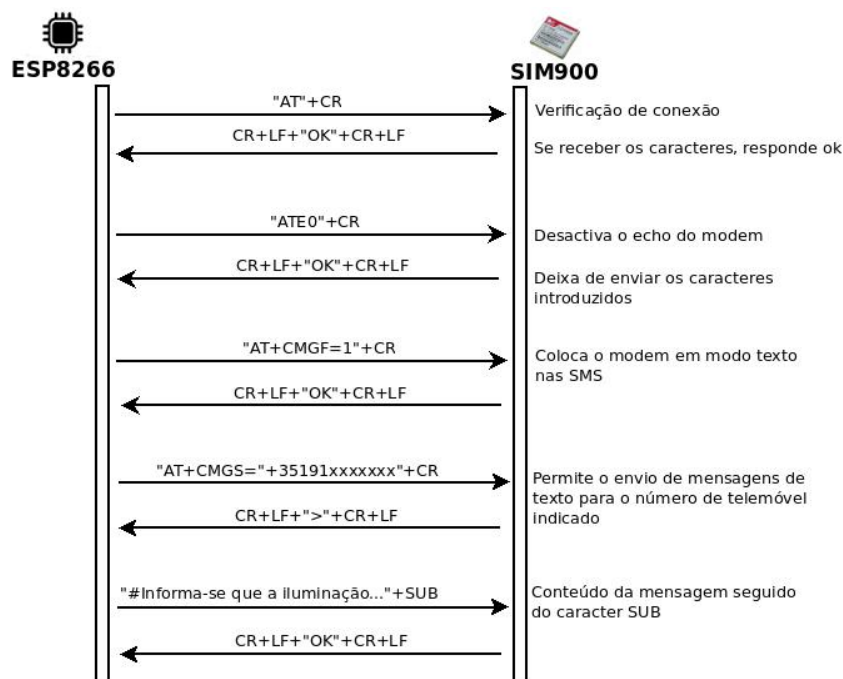
O modem SIM900 foi usado para:

- Envio de *SMS* a notificar o técnico de aviso/avaria desencadeado na instalação;
- Ligação com o servidor *NTP* para acertar o *RTC* interno;
- Comunicação *TCP/ip* para o envio e recolha de informação presente na base de dados.

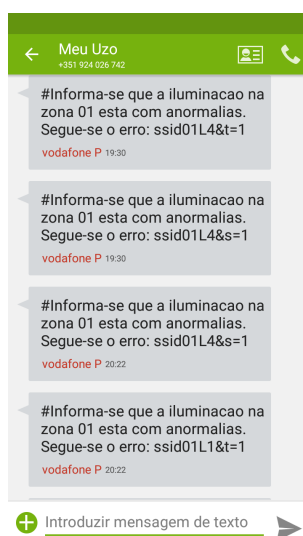
Para as comunicações *TCP/ip* foi necessário ativar, no cartão *SIM*, um tarifário que permitisse o acesso à *internet*.

Para existir uma boa comunicação entre o ESP8266 e o modem foi necessário interpretar as respostas dadas por este, e só assim transitar para o comando seguinte. De salientar que as mensagens trocadas foram através de comandos AT, descritos em detalhe de seguida.

## SMS

Figura 4.4: Diagrama de interações para envio de *SMS*.

No diagrama ilustrado na Figura 4.4, é possível visualizar um exemplo de troca de mensagens entre o ESP8266 e o modem, para o caso de envio de *SMS* desencadeado por aviso/avaria.

Figura 4.5: Teste de envio de *SMS* para o técnico.

Na Figura 4.5 pode-se verificar o formato da mensagem de erro, enviada para o

telemóvel que se encontra registado na base de dados do servidor *Raspberry*.

## NTP

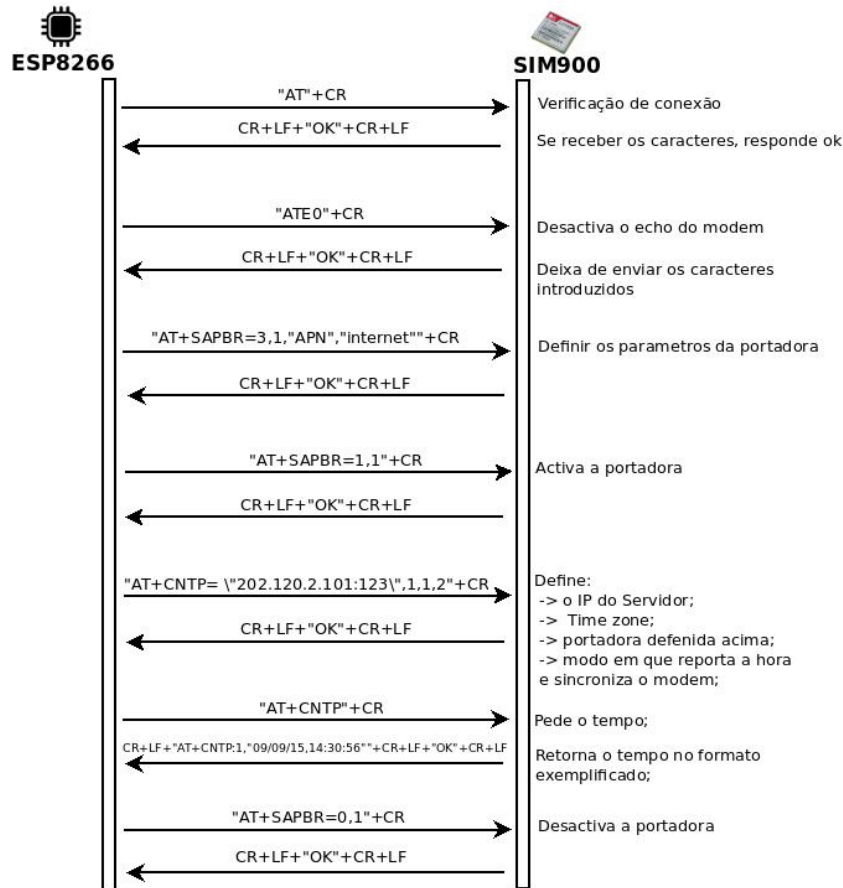


Figura 4.6: Diagrama de interações para o Servidor *NTP*.

O diagrama da Figura 4.6 mostra os comandos necessários para solicitar o ano, o mês, o dia, a hora, os minutos e os segundos ao servidor e atualizar o *RTC* interno do modem. Esta ligação é efetuada de cada vez que o módulo *master* é iniciado, para que este consiga desligar a iluminação no período de tempo atípico definido na *web* page.

## TCP/ip

No diagrama ilustrado na Figura 4.7, é possível visualizar um exemplo de troca de mensagens entre o ESP8266 e o modem, para efectuar a conexão *GPRS*. Na Figura 4.8 pode ser observado um exemplo de comunicação para registo de dados no servidor.

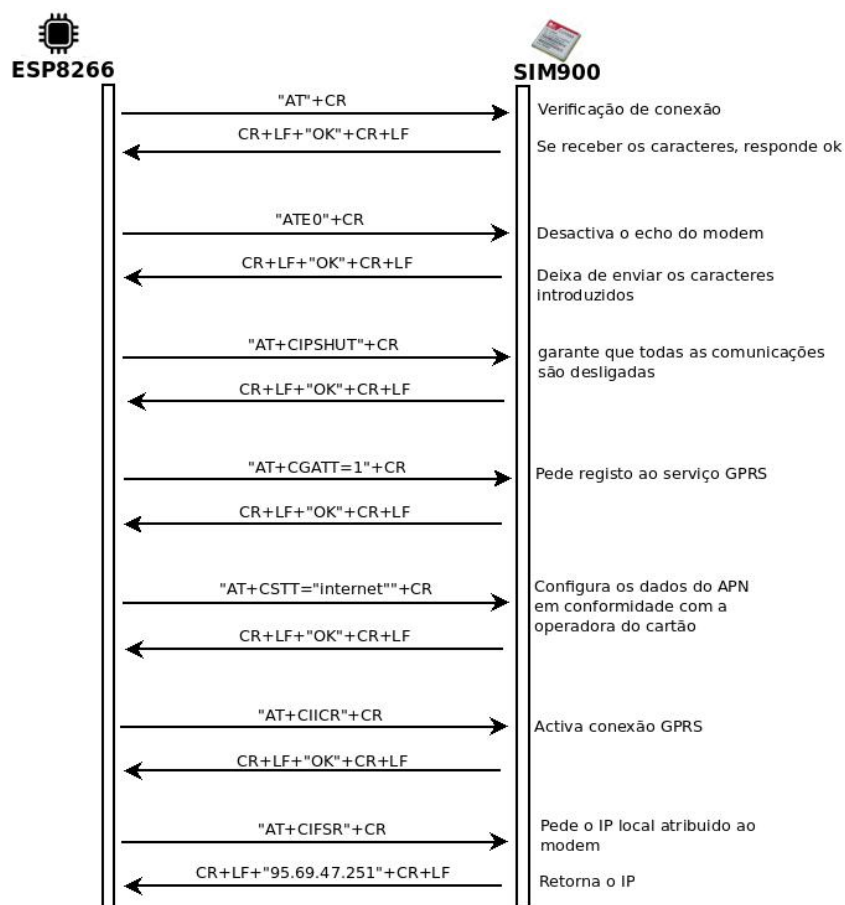
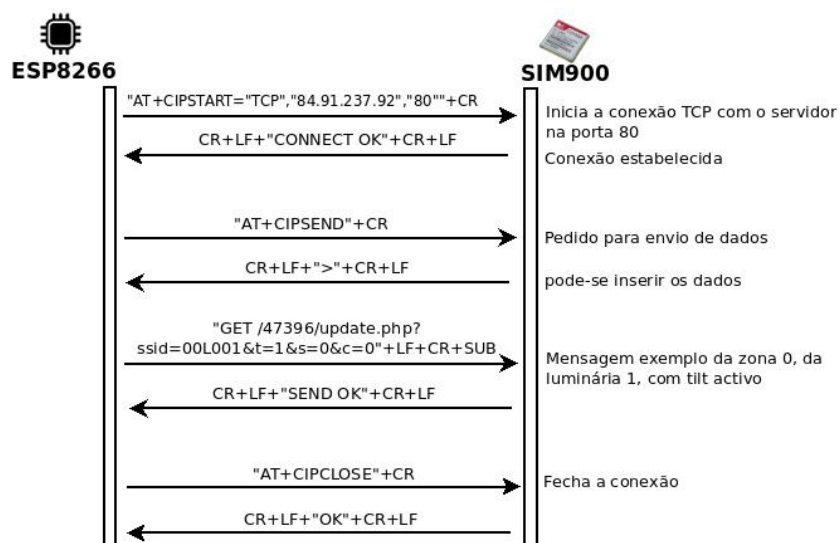
Figura 4.7: Diagrama de interações para conexão *GPRS*.

Figura 4.8: Diagrama de interações para registo na base de dados.

Para estabelecer esta comunicação com a base de dados, foi necessário conhecer o *ip* de *internet* atribuído ao local onde se encontra o servidor *Raspberry*. Para além disso, como existe um router, foi essencial configurar o redirecionamento de tráfego vindo de fora, para a porta atribuída (80), no *ip* do *Raspberry*.

A comunicação referida anteriormente envia um *URL*, construído para ser analisado com código *PHP* presente no servidor, que irá colocar todas as variáveis no seu devido lugar na base de dados.

Na resposta dada pelo servidor (exemplo do número de telemóvel do técnico), o ESP8266 procura a *string*, que foi contruída com recurso a código *PHP*.

Apesar do *modem* SIM900 permitir, para além de cliente *TCP/ip*, ser também servidor, optou-se, devido ao facto de o *ip* ser dinâmico (para contornar este problema teria de se ter uma conexão *DDNS*), por efetuar apenas ligações como cliente *TCP/ip*.

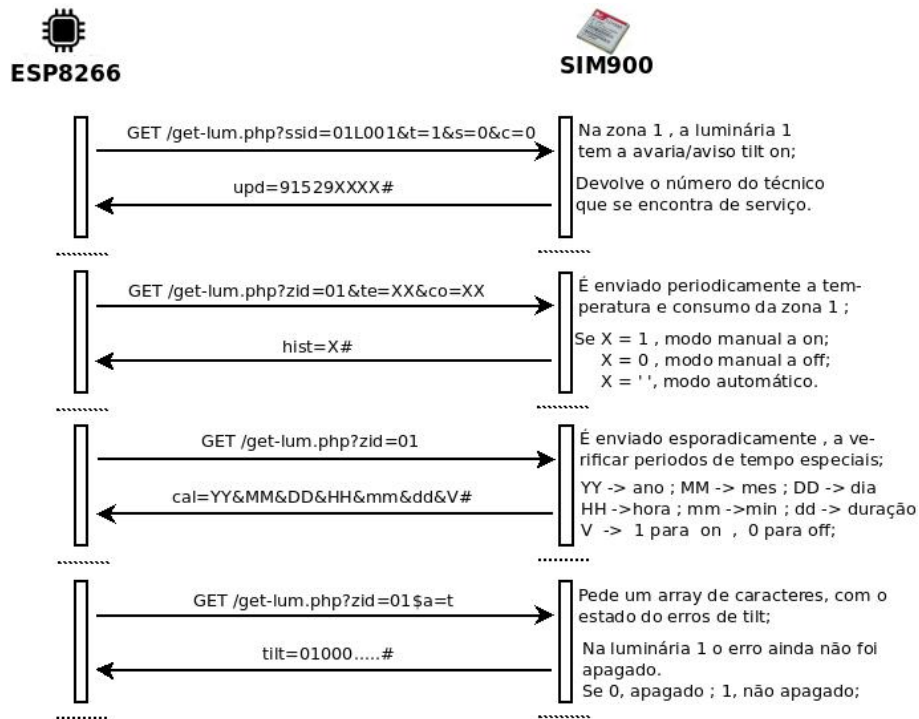


Figura 4.9: Diagrama de interações para troca de informação com a base de dados.

Na Figura 4.9 podem ser observados os *URL* enviados para o servidor, assim como os conteúdos recebidos no *modem* SIM900, que serão lidos pelo ESP8266 do módulo *master*. A quarta interação é exemplificativa da verificação do erro *tilt*, corrente e *switch*, que também foram implementados.

#### 4.1.2 Troca mensagens entre os ESP8266

Na transmissão de mensagens entre as luminárias, é usado o módulo sem fios integrado nos ESP8266. A comunicação é efetuada por *Wi-Fi*, na frequência 2.4GHz, e optou-se por usar o canal 1, na tentativa de evitar interferências nas redes domésticas.

Este *hardware* permite funcionar em modo *access point* e *station*, em simultâneo.

Para a luminária *master* apenas funciona como *access point*, contudo, nas luminárias *slave*, funcionam nos dois modos, por forma a criar uma rede em cascata, possibilitando que a iluminação se estenda para além da zona envolvente da luminária *master*.

De modo a poder fazer uso desta comunicação sem fios, recorreu-se à biblioteca de funções *Wi-Fi* do *arduino* (adaptada por membros da comunidade ESP8266/*arduino*[28] para funcionar com este módulo).



Figura 4.10: Diagrama de interações de deteção de movimento na luminária N.

Na Figura 4.10 é ilustrado o diagrama de interações que exemplifica o envio da mensagem "motion" da luminária N para as suas adjacentes.

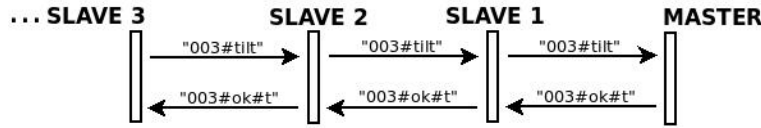


Figura 4.11: Diagrama de interações do acionamento do erro *tilt* na luminária 3.

Na Figura 4.11 é ilustrado o diagrama de interações que exemplifica o envio da mensagem de erro *tilt*, para a luminária *master*, fazendo o repasse de mensagem pelos *slave's* que encontrar. Após a receção pelo *Master*, é dada a resposta "ok" para a luminária que despoletou o erro. Caso esta resposta, por algum motivo, não ocorra, a luminária que desencadeou o processo tem ativo um contador que funciona como *timeout*. Ou seja, caso não receba o "ok" num determinado período de tempo (que aumenta consoante o *ID* da luminária), o processo de envio irá ser ativado novamente.

De notar que, nesta interação, foi usado como exemplo a avaria *tilt*, contudo, na avaria *switch* e *corrente*, o processo é o mesmo.

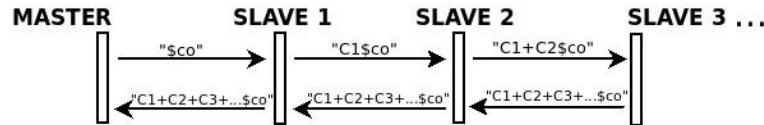


Figura 4.12: Diagrama de interações da soma do consumo de energia.

Na Figura 4.12 é ilustrado o diagrama de interações do envio da mensagem para soma de consumos. Partindo da luminária *master*, o envio é feito até à última *slave*, que devolve o somatório de todos os consumos. Quando uma luminária recebe este tipo de mensagem, após incrementar o valor na variável de repasse, é limpo o contador interno e iniciado logo de seguida.

### 4.1.3 Sensores

Como, nesta dissertação, é dado foco na poupança de energia, os sensores desempenham um papel crucial no sucesso deste objetivo. De seguida, serão abordadas as liga-

ções com o microcontrolador e recomendações dos fabricantes, de forma independente, nos sensores que fazem parte desta solução.

## Temperatura

Como a vida útil dos *LED*'s está diretamente relacionada com a temperatura, optou-se por incorporar um sensor de temperatura. Esta leitura é garantida pelo *chip* DS18B20, ilustrado no esquemático da Figura 4.13. A comunicação deste *chip* com o ESP8266 é feita por *1-Wire*.

Para o seu funcionamento, foi usada uma resistência de *pull-up*, como exigido pelo fabricante, e a porta do microcontrolador foi configurada para operar numa comunicação deste tipo.

Neste tipo de ligação, o sensor tem um endereço único, possibilitando a conexão de vários destes, num único barramento *1-Wire*. Contudo, como apenas foi usado um, optou-se por ignorar os endereços.

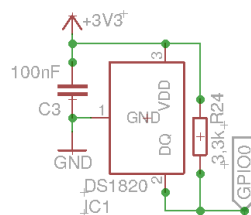


Figura 4.13: Circuito de ligações do DS18B20.

Para se obter o valor de temperatura, é necessário enviar uma mensagem, com conteúdo `<0x44>`, que pede para iniciar a conversão, e, de seguida, envia-se `<0xBE>` a solicitar os nove *bytes*. O valor da temperatura encontra-se nos primeiros dois *bytes*. Entre mensagens, é necessário enviar um comando de *pulse reset* seguido de um *Skip Rom*. No anexo E encontra-se a função desenvolvida, que contém estes comandos. É de referir que as portas do microcontrolador tiveram de ser configuradas para operar numa comunicação deste tipo.

## Luminosidade

Sendo provavelmente o sensor mais importante, este permite regular o fluxo luminoso consonte a luz natural presente na zona.

Esta leitura é garantida pelo *chip* BH1750, ilustrado no esquemático da Figura 4.14.

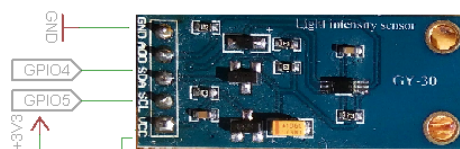


Figura 4.14: Circuito de ligações do módulo GY-30 que contém o *chip* BH1750.

A comunicação *I2C* é composta por 2 ligações ao ESP8266 (*SDA* e *SCL*), no *GPIO* 4 e *GPIO* 5, respetivamente. Devido às dimensões do sensor serem extremamente reduzidas, optou-se por comprar módulos (GY-30) que vêm com o *chip* soldado, assim como os componentes essenciais ao seu funcionamento.

Para solicitar o valor de iluminância, o fabricante recomenda usar o *H-Resolution MODE*, por forma a evitar interferências. Além disso, este modo permite ter uma resolução de um *lx*, que é o valor recomendado para o efeito.

O endereço do *chip* é configurado no pino ADDR, vindo no módulo com  $\langle 0x23 \rangle$ , que corresponde a ADDR  $< 0.3 V$  (conetado ao *ground*).

A comunicação *I2C* inicia-se com o endereço  $\langle 0x23 \rangle$ , e configura-se para modo de leitura contínuo, em alta resolução com o comando  $\langle 0x10 \rangle$ .

De seguida, pede-se o conteúdo da posição de memória  $\langle 0x23 \rangle$ , composto por dois *bytes*. Por fim, efectua-se a leitura destes e converte-se para decimal. No anexo E, encontra-se a função desenvolvida, que contém estes comandos.

## Potência

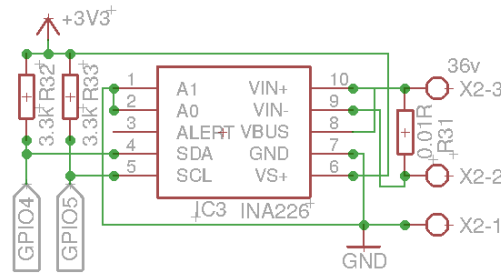


Figura 4.15: Circuito de ligações do *chip* INA226.

Assim como o de luminosidade, o *chip* INA226, que mede corrente e diferença de potencial, faz uso do barramento *I2C*. Na Figura 4.15 pode ser observado o seu circuito de ligações.

O endereço do *chip* é configurado nos pinos A0 e A1, e optou-se por ligá-los ao *ground*, originando o endereço  $\langle 0x40 \rangle$ .

A comunicação *I2C* inicia-se com o endereço  $\langle 0x40 \rangle$ , e configura-se, de início, o registo  $\langle 0x05 \rangle$  com o valor de calibração calculado no anexo C.

O *chip* permite ler a corrente, diferença de potencial, ou até mesmo a potência, diretamente das posições de memória. Contudo, nesta dissertação, optou-se por ler apenas o valor de potência que se encontra no registo  $\langle 0x03 \rangle$ .

Após efectuar a leitura, coloca-se os dois bytes numa variável decimal, que será multiplicada pelo *LSB*. No anexo E, encontram-se as funções desenvolvidas, para escrita e leitura.

## Porta Circuitos, tilt e movimento

Uma vez que todos os circuitos da luminária são essenciais ao seu funcionamento, achou-se por bem integrar um sensor *swicth* na porta de circuitos. Na Figura 4.16 é



possível visualizar o circuito de simulação.

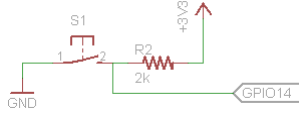


Figura 4.16: Circuito de simulação da porta de circuitos.

Os sensores *tilt* e de movimento também têm o mesmo princípio de funcionamento, e, desta forma, o seu circuito é igual ao da Figura 4.16.

Nestas ligações foram usadas três portas do ESP8266, configuradas como entrada digital associada a uma interrupção no código. Quando o pino *GPIO* 14 do ESP8266 está a 3,3 V, o microcontrolador interpreta a porta de circuitos como estando fechada. Relativamente ao sensor *tilt*, o funcionamento é similar, ou seja, quando este se encontra com as esferas internas afastadas dos terminais, a luminária está na vertical e a tensão, no pino *GPIO* 12, é de 3,3 V.

A par do sensor de luminosidade, o de movimento é considerado crucial para possibilitar reduções nos consumos de energia. Neste, optou-se por usar, também, um circuito simulador de movimento (Figura 4.16) para facilitar os testes de bancada.

As três interrupções, quando acionadas, são desactivadas, por uns segundos, para evitar múltiplos envios de erros.

#### 4.1.4 Led Driver e PWM

A saída *PWM*, dada no pino *GPIO* 16 do ESP8266, tem o nível de tensão 3,3 V, necessitando de ser amplificado para um nível de 10 V, para ser, depois, introduzida no driver dos *LED*'s. Para isso, recorreu-se ao circuito ilustrado na Figura 4.18, no qual a sua saída está pronta a ser introduzida no DIM+ e DIM- do driver. A Figura 4.17 apresenta o diagrama de blocos deste *driver*. Nesta observa-se que o *driver* está equipado com proteção de voltagem (O.V.P), temperatura excessiva (O.T.P), proteção de carga(O.L.P), assim como corrector do fator de potência (PFC). Tem na entrada da alimentação um filtro encarregue de eliminar possíveis interferências na rede *AC*.

O *duty cycle* é ajustado consoante o nível de iluminância, ou seja, à medida que o dia vai escurecendo, este vai aumentando segundo a reta presente no gráfico da Figura 4.19.

Quando o sensor de movimento é acionado, ou a mensagem "motion" é recebida, este é colocado a 100%, por cerca de 5 segundos, voltando depois a ser controlado através da iluminância registada pelo sensor.

Se os valores de iluminância estiverem para além dos limites, são dados os dos extremos da reta.

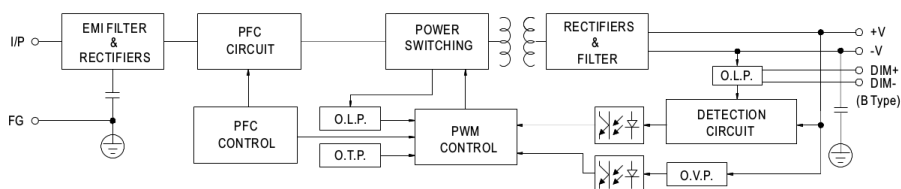


Figura 4.17: Diagrama de blocos do *LED driver* HLG-120H [4].

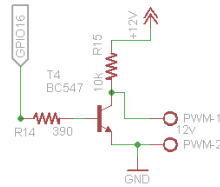


Figura 4.18: Circuito conversor da tensão do *PWM*[4].

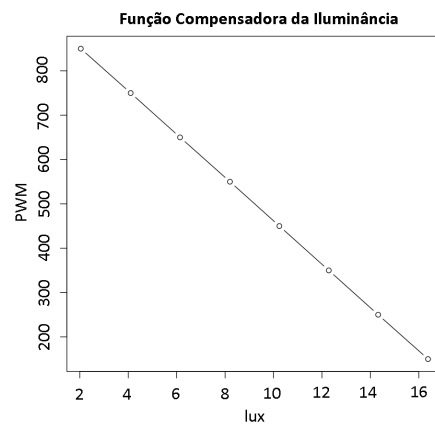


Figura 4.19: Função compensadora da iluminância.

#### 4.1.5 Relay do módulo master

Este *relay*, tem o propósito de arrancar as fontes de alimentação das luminárias *slave* e dos *LED*'s da luminária *master*, mediante a ação do utilizador na *webpage*, ou pelo valor da iluminância obtido pelo sensor.

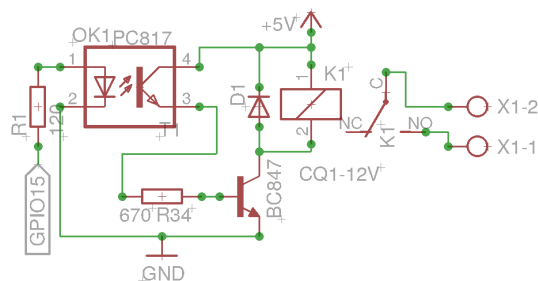


Figura 4.20: Circuito acionador do *relay* instalado no módulo master.

Na figura 4.20 é ilustrado o circuito que aciona o *relay*, por meio da saída digital *GPIO 2* do ESP8266. Optou-se por adicionar o acoplador ótico PC817, no acionamento do *relay* por forma a garantir o isolamento elétrico.



O *baudrate* usado na programação foi de 115200 bits/s, e para programar o *master*, é necessário comutar os dois *jumper*s que se encontram perto do ESP8266, para o lado da programação, visto este porto ser usado também pelo *modem* SIM900.

Os pinos *GPIO* 14, 13 e 12, usados por ligações externas ao módulo, estão protegidos por um diodo *zener* de 3,3 V. Por fim, o pino CH\_PD tem de ser conectado a 3,3 V e o *GPIO* 15 a 0 volts.

#### *slave ID*

No programa desenvolvido para os *slave*, é necessário apenas alterar um *define* que dita o *ID* da luminária. É importante que este inicie com o caracter 1 na luminária 1, seja 2 na 2 e por ai fora, até um máximo de 255 luminárias. A quantidade destas, pode ser facilmente aumentado, alterando o método de geração dos *ip*'s.

## 4.2 Supervisão Remota

A supervisão remota refere-se ao controlo pela página alojada no servidor *Raspberry*. Neste servidor desenvolveu-se uma *webpage* com ligação a uma base de dados *MySQL*, que, mediante uma conexão à internet, possibilita a monitorização da energia consumida e temperatura registada. Permite também visualizar as avarias sobre um mapa, no ponto geográfico em que se encontra a luminária.

Importa ainda referir que esta solução está preparada para funcionar com várias zonas de luminárias. Isso significa que, para além da identificação de cada luminária, existe também um *ID* referente à zona em questão.

### Página Web

No desenvolvimento da página *web* recorreu-se a vários tipos de linguagem de programação, nomeadamente *HTML*, *PHP*, *MySQL*, *JavaScript* e *CSS*.

Utilizou-se *CSS* com o intuito de garantir a existência de uma separação entre o formato e o conteúdo do documento, facilitando a organização e possíveis alterações futuras. Desta forma, a formatação encontra-se apenas num ficheiro, que é usado em todas as páginas do *site*.

Responsáveis pela construção do mapa e gráficos, as ferramentas do Google *Developers* [30], mostraram ser a opção mais indicada, visto serem de código aberto e existir bastante informação sobre a temática. Estas ferramentas fazem uso de *JavaScript*.

A linguagem *PHP* foi usada na leitura, registo e eliminação de valores da base de dados *MySQL*.

Quanto às funcionalidades da página, esta permite a entrada por *login* e *password*, como se pode ver na Figura 4.22, que ilustra o ambiente da página inicial. É dada ainda a possibilidade de fazer *login* com outros utilizadores inseridos na base de dados.

Figura 4.22: Index da *webpage*.

As luminárias registadas na base de dados são representadas por pinos fixados nas suas coordenadas geográficas, sobre um mapa da API v3 do Google. Estes pinos, que normalmente são de cor verde, tornam-se vermelhos quando existe um registo de avaria. Clicando sobre os mesmos, é possível obter informação sobre a identificação do ponto e as avarias existentes.

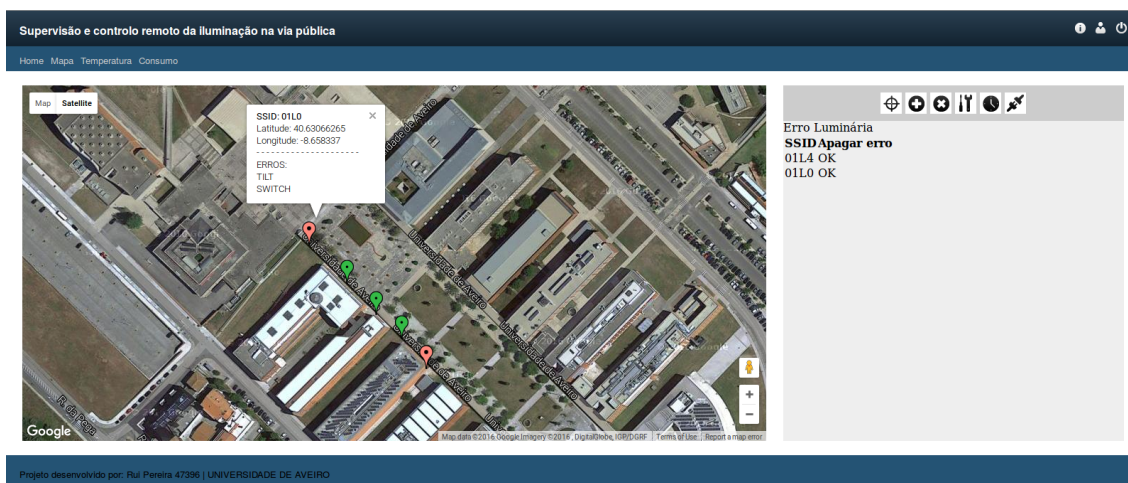
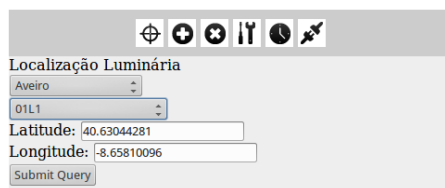


Figura 4.23: Página com o mapa e separador para apagar erros das luminárias.

Na Figura 4.23 é demonstrado o separador responsável por permitir "apagar erros". Para tal, basta premir "OK" na linha pretendida.

Figura 4.24: Separador que permite adicionar uma luminária de uma dada zona.

Mesmo que não existam erros na base de dados referente a uma luminária, é possível adicioná-la (irá aparecer a verde no mapa) - Figura 4.24. Será necessário introduzir a identificação da luminária (exemplo: 01L02, luminária 2 da zona 1), assim como a latitude e longitude.



Localização Luminária

Aveiro

01L1

Latitude: 40.63044281

Longitude: -8.65810096

Submit Query

Figura 4.25: Separador que permite introduzir dados de localização da luminária.

A Figura 4.25 mostra como escolher a zona da luminária, o seu *SSID*, assim como as respetivas coordenadas geográficas. Caso ocorra uma avaria numa luminária que não se encontra inserida na base de dados, esta é incluída automaticamente. Contudo, por não ter ainda as coordenadas geográficas definidas, não é apresentada no mapa.

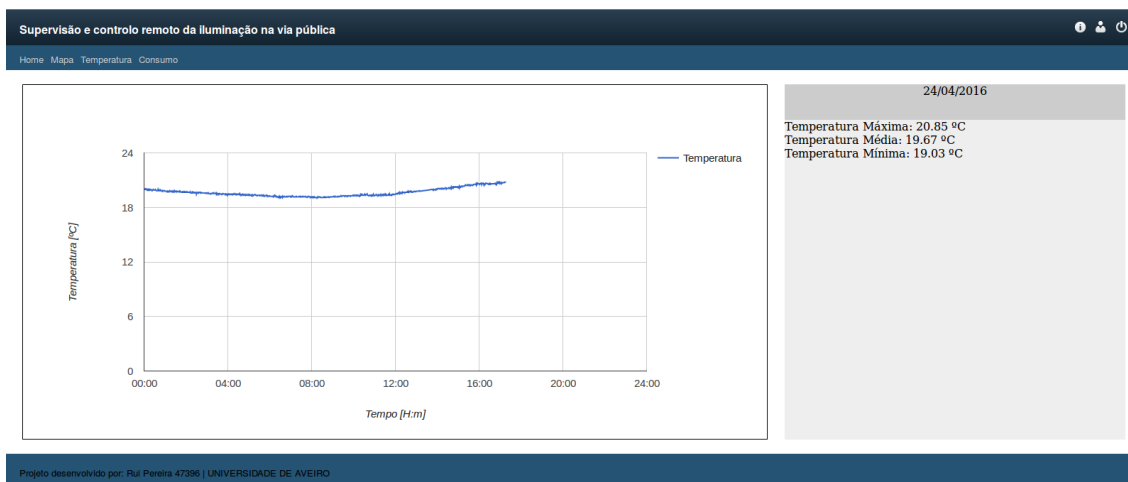


Figura 4.26: Separador que permite visualizar as temperaturas ao longo do dia.

Ao longo do dia, de minuto a minuto, é registada a temperatura da zona envolvente das luminárias. Para uma melhor visualização, estes valores foram representados no gráfico da Figura 4.26.



Figura 4.27: Separador que permite visualizar os consumos ao longo do mês.

Ao longo do mês, é registado o consumo energético das luminárias. Para uma melhor visualização, estes valores foram representados no gráfico da Figura 4.27. Como as luminárias estão sem a fonte de luz instalada, o valor registado é demasiado baixo, e por conseguinte, o autor teve a necessidade de o aumentar para efeitos de visualização. Numa instalação real, removendo este aumento, a escala usada já será a mais correta.

Figura 4.28: Separador que permite definir os parâmetros para o calendário atípico.

Como referido anteriormente, achou-se por bem permitir a definição de um período atípico, no qual a iluminação respeitaria o indicado pelo utilizador. Para tal, foi criada a aba representada na Figura 4.28, onde se define o início do período "especial", a sua duração e o estado (on ou off).

Figura 4.29: Separador que permite escolher o modo de funcionamento manual.

Por defeito, a iluminação é controlada automaticamente no terreno, com recurso aos sensores. No entanto, no separador "Modo Manual/Automático", representada na Figura 4.29, foi adicionado controlo manual de toda a iluminação. Este modo apenas vai atuar no estado do *relay* que aciona os drivers dos *LED's*, ignorando o valor de iluminância obtido no módulo *master*.

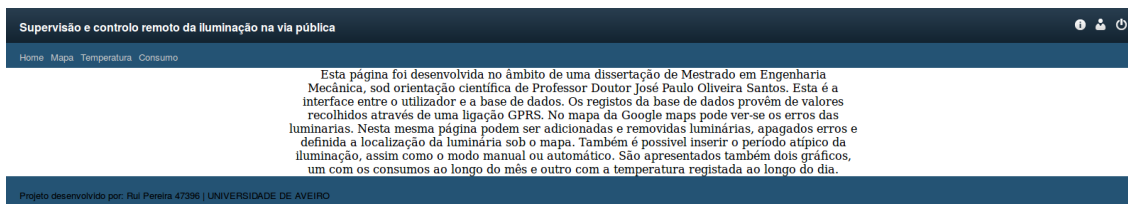


Figura 4.30: Separador que permite visualizar informações relativas ao projeto.

Por fim, encontram-se sintetizadas na Figura 4.30 as principais funcionalidades que a plataforma apresenta.

### Base de dados MySQL

Sendo *freeware*, o MySQL é um programa de gestão de bases de dados que permite lidar com um elevado número de registos de forma eficiente e rápida. Nesta dissertação as ligações à base de dados foram efetuadas por meio da linguagem *PHP*.

Na Figura 4.31 encontram-se ilustradas diversas tabelas, cuja descrição se evidência seguidamente.

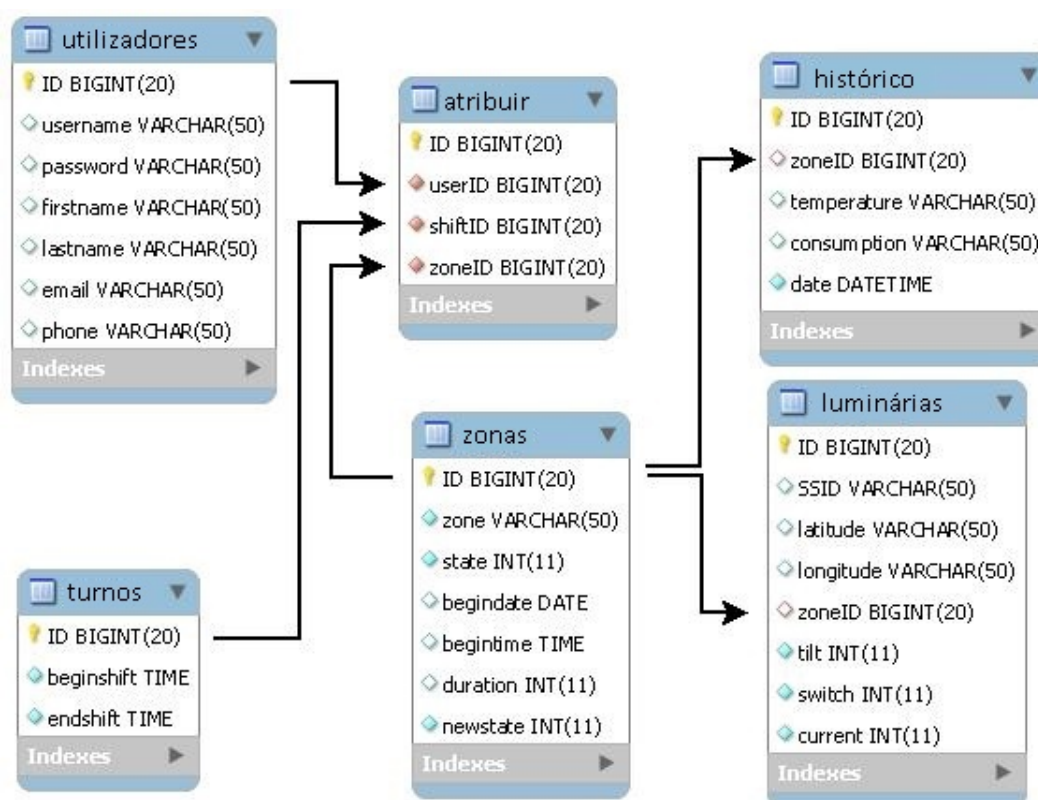


Figura 4.31: Relação de tabelas da base de dados.

A tabela "utilizadores" contém os dados dos técnicos que se registaram na página *web*. Todas as variáveis usadas são do tipo *VARCHAR*.



Como foi referido anteriormente, o envio de *SMS* é feito segundo o número de telemóvel registado. Visto existir a possibilidade de haver vários técnicos, achou-se por bem criar a tabela "turnos", que contém o horário de três, na qual as variáveis são do tipo *TIME*.

Para correlacionar os turnos com os técnicos criou-se a tabela "atribuir", em que entra também a zona de luminárias.

Na tabela "zonas", encontra-se atribuída a descrição de cada zona. Foram também, introduzidas as variáveis referentes ao calendário atípico, assim como o controlo manual. Relativamente ao calendário atípico, são definidas na página as variáveis "data", "tempo" e "duração que o novo estado irá estar activo". Já o controlo manual/automático, apenas faz uso da variável estado, que pode tomar 3 valores possíveis: o zero refere-se ao automático, ou seja, o controlo é feito no terreno; já o valor um ou dois diz respeito ao controlo manual *on/off*, respectivamente.

Por forma a criar os gráficos do consumo e temperatura, criou-se a tabela "histórico", na qual são introduzidos os valores recebidos, vindos do *modem GSM*. A variável *DATETIME* é automaticamente inserida aquando da entrada de valores.

Por fim têm-se a tabela "luminárias" que contém a identificação da luminária, as coordenadas geográficas, a zona, e os três estados booleanos das avarias.

### 4.3 Análise da Solução

Nesta secção, está descrito o desempenho conseguido com a implementação do sistema proposto.

Iniciou-se a análise com a verificação dos consumos energéticos do módulo *master* e um dos *slave*. Relativamente ao *master*, quando se encontra com uma comunicação *GSM/GPRS* ativa, apresenta um consumo de 1,5 *W*. Já o *slave* apresenta um consumo de 1 *W*.

Deixando o sistema do terreno e passando para o de supervisão, no *raspberry*, o consumo de energia medido é inferior a 2 *W*, revelando-se esta, uma escolha acertada, visto um computador convencional consumir diversas vezes mais energia.

Em relação à comunicação sem fios entre as luminárias, verificou-se que através de testes consegue-se estabelecer ligações com uma distância aproximada de 50 metros em campo livre. Como geralmente as luminárias estão no máximo a esta distância, cumpre os requisitos. Ainda acerca da comunicação sem fios, foi deixado o protótipo a funcionar por cerca de 10 dias, e os módulos continuavam a interagir uns com os outros, comprovando a fiabilidade.

O tempo de *delay* decorrido entre um erro de avaria na luminária 4 e a sua chegada à *master* é de cerca de 2 segundos. Isto deve-se essencialmente aos tempos necessários para a comunicação ser estabelecida entre *ip's*, e não ao número de bytes trocados.

O sensor INA226 demonstrou ser bastante preciso. Para testes de aferição foi usado um *LED* de potência 7 *W* que consome 300 mA, ligado a uma fonte de bancada. A potência obtida pela leitura do sensor foi de 6,6 *W*, ou seja, apresenta um pequeno erro que pode ser devido ao facto dos circuitos ainda se encontrarem numa placa de prototipagem.

No sensor de iluminância não foi efectuado nenhum teste aos valores obtidos. Contudo, à medida que o dia vai escurecendo, a compensação dada por intermédio do *PWM*,

controla o fluxo luminoso de forma harmoniosa. Contudo, admite-se que numa luminária real testada no exterior, possa haver necessidade de ajustar os parâmetros na função.

A temperatura obtida no *master*, em comparação com um termómetro digital de infra vermelho, revelou-se a mesma.

O sensor de movimento sugerido foi posto em teste ao ar livre num dia temperado e seco, durante alguma horas, e aparentemente não existiram falsos movimentos. No entanto, este apresenta uma caixa que não é indicada para o exterior, e também admite-se que, em dias chuvosos, esta tecnologia possa não ser totalmente fiável.

No teste à precisão do *RTC* do *modem GSM*, verificou-se que, quando está apenas alimentado com a pilha, existe um erro de 2 segundos, ao fim de um dia. Esta discrepância é pequena, ainda assim, optou-se por efectuar a ligação ao servidor *NTP* todas as vezes que o sistema é alimentado.

No envio dos dados relevantes para a monitorização, verificou-se que o *modem* consegue estabelecer a comunicação com o servidor *raspberry*, praticamente com o mesmo intervalo entre envios.

▲ ID	📍 zoneID	temperature	consumption	▼ date
664	1	19.78	854.52	2016-04-22 19:23:54
663	1	19.84	844.04	2016-04-22 19:22:54
662	1	19.84	830.92	2016-04-22 19:21:54
661	1	19.84	854.64	2016-04-22 19:20:54
660	1	19.78	846.25	2016-04-22 19:19:54
659	1	19.78	825.02	2016-04-22 19:18:54
658	1	19.78	856.12	2016-04-22 19:17:54
657	1	19.84	843.00	2016-04-22 19:16:54
656	1	19.84	839.54	2016-04-22 19:15:54
655	1	19.91	829.06	2016-04-22 19:14:54
654	1	19.91	838.60	2016-04-22 19:13:55
653	1	19.84	829.87	2016-04-22 19:12:54
652	1	19.91	837.22	2016-04-22 19:11:55
651	1	19.91	840.96	2016-04-22 19:10:54
650	1	19.97	845.85	2016-04-22 19:09:54
649	1	19.91	821.05	2016-04-22 19:08:54
648	1	19.91	832.49	2016-04-22 19:07:54
647	1	19.91	863.16	2016-04-22 19:06:54
646	1	19.97	838.95	2016-04-22 19:05:54
645	1	20.03	844.35	2016-04-22 19:04:54
644	1	19.97	850.88	2016-04-22 19:03:54
643	1	19.97	688.10	2016-04-22 19:02:54
642	1	19.97	245.51	2016-04-22 19:01:54
641	1	20.03	237.15	2016-04-22 19:00:54
640	1	19.97	0.44	2016-04-22 18:59:54
639	1	20.03	0.51	2016-04-22 18:58:54
638	1	20.03	0.44	2016-04-22 18:57:54

Figura 4.32: Periodicidade de registos na base de dados.

Na figura 4.32, pode observar-se, na coluna horas, um exemplo de intervalos entre cada registo. Foi obtido um período entre registos muito próximo do projetado (minuto a minuto).

Aquando da escolha dos componentes, teve-se sempre em consideração o preço, por forma a que, no final, o custo total fosse relativamente baixo. Este objectivo foi cumprido, uma vez que os custos associados aos módulos *master* e *slave* foram de cerca de 35 euros e 15 euros, respetivamente. O *raspberry* com o cartão micro *SD* apresenta no mercado o valor de 45 euros.

## 4.4 Trabalhos Futuros

Como em todos os trabalhos, ficam sempre ideias por explorar e por fazer, ou refazer de outra forma. Deste modo, é feito, em forma de encerramento desta dissertação, a sugestão para diversas ideias, que podem ser implementadas em projetos futuros, para continuação do trabalho até agora desenvolvido. As sugestões passam por:

- Implementar o *modem* SIM900 como servidor nas conexões *TCP/ip*;
- Colocar no protótipo sensores de corrente nos restantes *slave's*, para que se consiga fazer um real teste do consumo (de momento, apenas o *master* dá o valor real);
- Assemblagem de todos os componentes electrónicos nas *PCB's*, assim como concessão de caixas para os circuitos, a serem usados num posterior teste numa rua;
- Aperfeiçoar o modo usado para troca de mensagens sem fios entre luminárias;
- Adicionar a funcionalidade de conseguir limpar o erro da base de dados por meio de uma *SMS*;
- Desenvolver um sensor de movimento, com as tecnologias abordadas, e que respeite as normas de dispositivos à prova de água.
- Adicionar a funcionalidade de controlo independente de cada luminária, através da plataforma *web*.
- Substituir os módulos ESP-12 (tem antenas incorporada no *PCB*) por módulos ESP-07, visto estes terem uma conexão para antena externa. Isto é necessário uma vez que a carcaça das luminárias são geralmente metálicas.
- Integrar uma função que permita desactivar o erro da porta de circuitos, no momento em que o técnico necessita de a abrir. Uma forma possível seria o técnico conectar-se ao *access point* da luminária em questão, e esta ter implementada uma simples página *web* com um botão.
- Na plataforma *web* criar um formulário que permita, de forma prática, a inserção de utilizadores e seus dados, incluindo o número de telemóvel. Neste momento, esses dados podem ser inseridos de forma manual na base de dados.

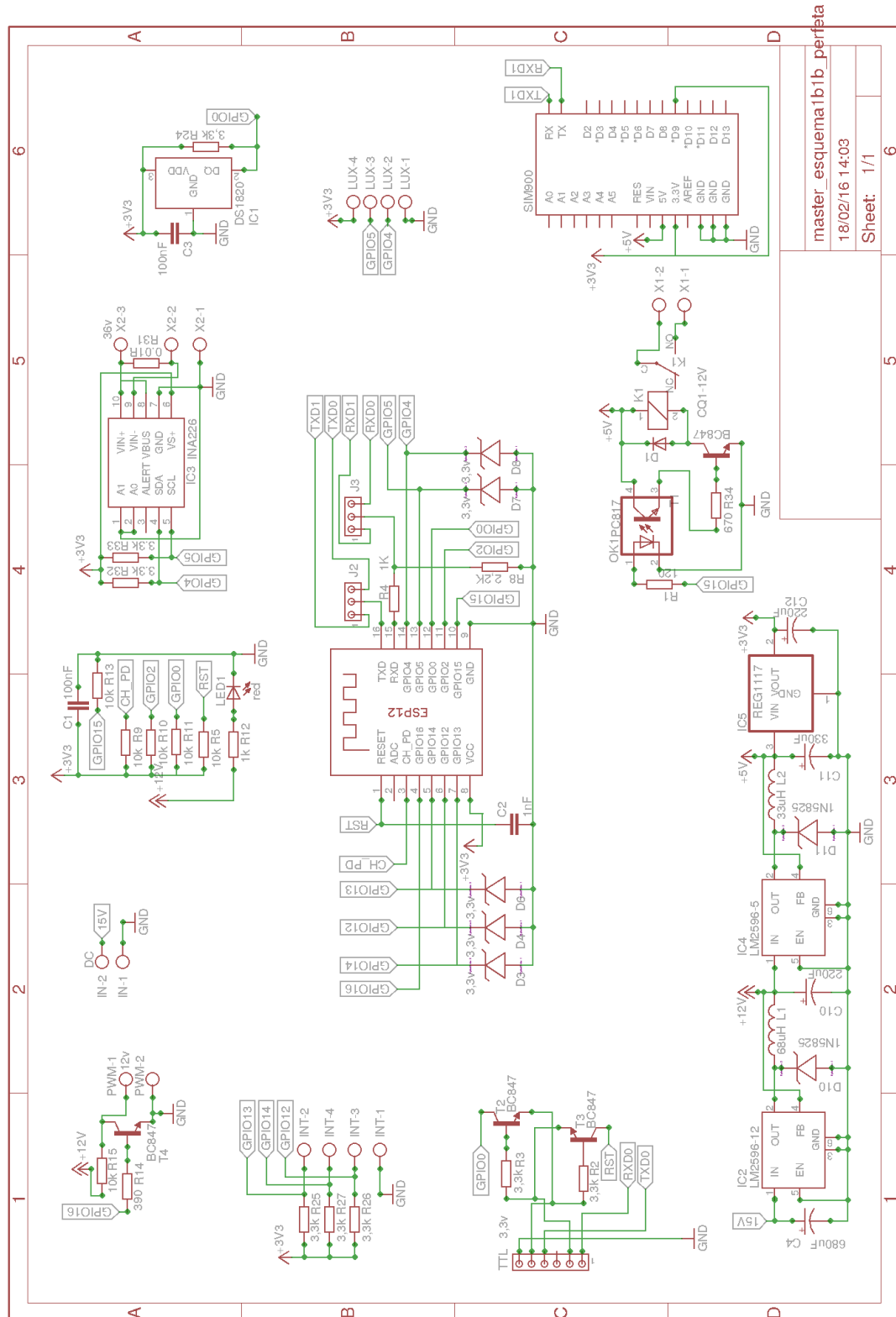
# Referências Bibliográficas

- [1] Bartos, Krzysztof Miroslaw, “Efficient led drivers for general illumination applications,” pp. 9–11–12, 2014.
- [2] NASA, “Earth Observatory. Acedido em: 15/06/2015.” [Online]. Disponível: [http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=79765&eocn=image&eoci=related\\_image](http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=79765&eocn=image&eoci=related_image)
- [3] Daniel Ribau, “Sistemas de iluminação pública com gestão inteligente de consumo.” *Universidade de Aveiro - Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática*, 2010.
- [4] MEAN WELL, “HLG-120H. Acedido em 23/03/2015, pp. 5.” [Online]. Disponível: [http://www.meanwell.com/mw\\_search/HLG-120H/HLG-120H-spec.pdf](http://www.meanwell.com/mw_search/HLG-120H/HLG-120H-spec.pdf)
- [5] TEC-IT, “Gestão inteligente e individualizada da iluminação,” *Apresentação. SmartLi v1.01*, p. 3, 2010.
- [6] PORDATA, “Consumo de energia elétrica na iluminação das vias públicas. Acedido em: 15/06/2015.” [Online]. Disponível: <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+electrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124>
- [7] EDP, “Energias de Portugal. Acedido em: 15/06/2015.” [Online]. Disponível: <https://energia.edp.pt/particulares/energia/tarifarios>
- [8] EUROPEAN COMMISSION, “Climate Action. acedido em: 16/06/2015.” [Online]. Disponível: [http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm)
- [9] ECO.AP, “Programa de Eficiência Energética na Administração Pública. acedido em: 16/06/2015.” [Online]. Disponível: <http://ecoap.adene.pt/;2>
- [10] Henrique Costa, “Plataforma inteligente para sistemas de iluminação pública.” *Universidade de Aveiro - Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática*, p. 5, 2013.
- [11] DIARIO DA REPUBLICA, “DI119\_2014\_rohs,” p. 3, 2014.
- [12] ETAP, “Iluminação com uma nova fonte de luz,” *leddossier 5 edição*, pp. 9–10–21, 2014.
- [13] Nuno Mirante, “Análise e melhoria de sistemas de arrefecimento de lâmpadas de led,” *Universidade de Aveiro - Departamento de engenharia mecânica*, p. 7, 2013.

- [14] PHILIPS, “Amplight enterprise system,” *Centralized Streetlight Control*, 2010.
- [15] PHILIPS, “Amplight lfc7500/00,” *Datasheet*, p. 1, 2011.
- [16] PHILIPS, “Starsense wireless,” *End-to-end wireless intelligent management system for your outdoor lighting*, 2013.
- [17] SIEMENS, “Control cabinets for intelligent street lighting,” 2013.
- [18] OSRAM, “Street light control,” *Innovative Light Control*, 2013.
- [19] ADENE, “Acedido em: 28/06/2015.” [Online]. Disponível: <http://www.adene.pt/iluminacao-publica>
- [20] ADENE, “Eficiência energética na iluminação pública,” *Documento de Referência*, 2011.
- [21] RASPBERRY, “Características. Acedido em 28/08/2015.” [Online]. Disponível: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b>
- [22] RASPBERRY, “CPU - BROADCOM. Acedido em 28/08/2015.” [Online]. Disponível: <http://www.broadcom.com/blog/raspberry-pi/love-to-get-your-hands-on-a-raspberry-pi-2-hat-tip-to-broadcom/>
- [23] SIMCom, “Sim900 at command,” *Manual V1.03*, p. 11, 2010.
- [24] MAXIM, “DS18B20. Acedido em 18/04/2015.” [Online]. Disponível: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [25] ROHM SEMICONDUCTOR, “Ambient Light Sensor BH1750FVI. Acedido 17/06/2015.” [Online]. Disponível: <http://rohmfs.rohm.com/en/products/databook/datasheet/ic/sensor/light/bh1750fvi-e.pdf>
- [26] TEXAS INSTRUMENTS, “INA226. Acedido em: 18/08/2015.” [Online]. Disponível: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina226.pdf>
- [27] ISEP, “DOMOTICA TECNOLOGIA DALI. Acedido em: 03/04/2015.” [Online]. Disponível: <http://ave.dee.isep.ipp.pt/~dss/Disciplinas/DOMOT/Teorica/Tecnologia%20DALI.pdf>
- [28] ESP8266, “Acedido em: 18/04/2015.” [Online]. Disponível: <https://github.com/esp8266/Arduino>
- [29] NODEMCU, “Acedido em: 20/09/2015.” [Online]. Disponível: <https://github.com/nodemcu/nodemcu-devkit>
- [30] GOOGLE DEVELOPERS, “Acedido em: 20/09/2015.” [Online]. Disponível: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/>
- [31] RASPBERRY, “Servidor LAMP. Acedido em 03/09/2015.” [Online]. Disponível: [http://elinux.org/RPi\\_A\\_Simple\\_Wheezy\\_LAMP\\_install](http://elinux.org/RPi_A_Simple_Wheezy_LAMP_install)

## Apêndice A

### Esquemas



master\_esquema1b\_perfeta

18/02/16 14:03

Sheet: 1/1

Figura A.1: Esquema master.







## Apêndice B

### Desenho PCB's

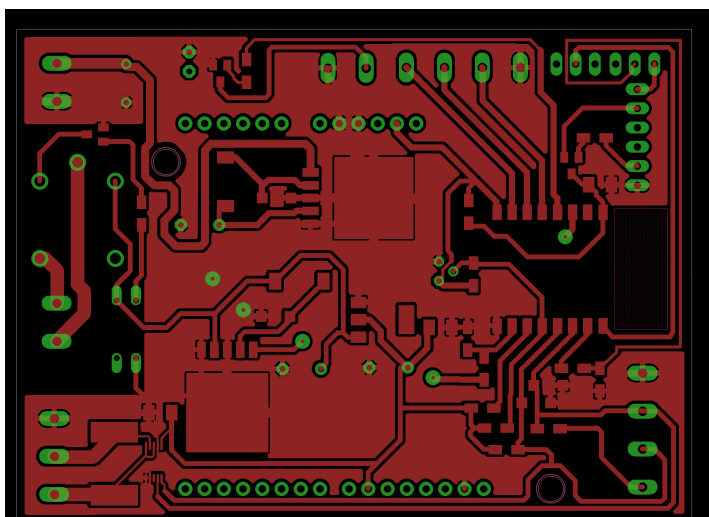


Figura B.1: PCB do módulo master - top.

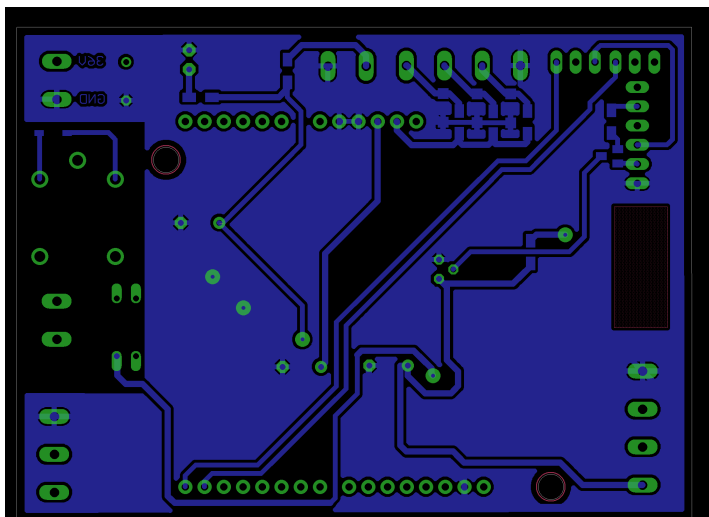


Figura B.2: PCB do módulo master - bottom.

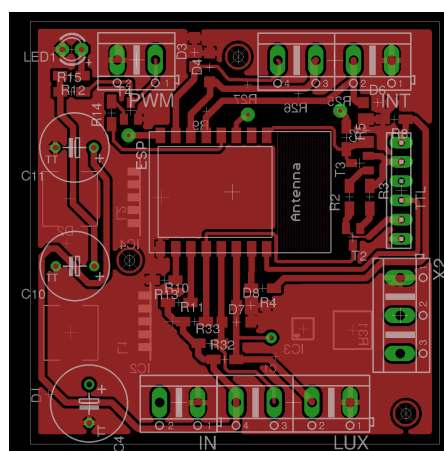


Figura B.3: PCB do módulo slave - top.

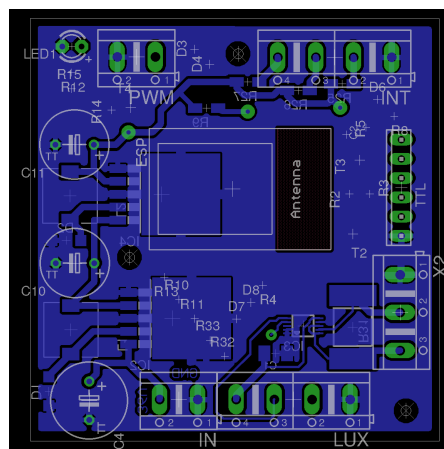


Figura B.4: PCB do módulo slave - bottom.

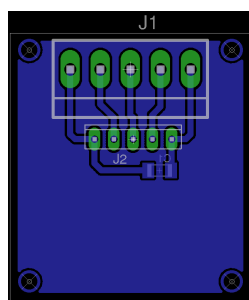


Figura B.5: PCB de encaixe para módulo BH1750.



## Apêndice C

# Calibrar Sensor INA226

Para que o sensor de corrente e diferença de potencial usado seja capaz de fornecer os valores de potência consumida, é necessário introduzir primeiro o valor de calibração no registo (0x05).

Todos os calculos seguintes foram efetuados com base na *datasheet* fornecida pelo fabricante do *chip*[26]. O valor de calibração tem de ser calculado em função da resistência Shunt usada ( $R_{shunt} = 0,01R$ ), assim como a potência máxima ( $A_{max} = 4A$ ) que se irá medir.

$$Corrente\_LSB = \frac{A_{max}}{2^{15}} = 122\mu A/Bit$$

$$Calibracao = \frac{0,00512}{Corrente\_LSB * R_{shunt}} = 4194$$

O valor de potência em Watt, é calculado com a seguinte equação:

$$Potencia = Valor\_registo\_potencia * Power\_LSB$$

em que:

$$Power\_LSB = Corrente\_LSB * 25$$

Nos tempos de conversão do *Bus voltage* e *Shunt voltage*, assim como no número de amostras efetuadas para o valor médio, optou-se por deixar os valores por defeito. Estes são 1,1ms para os tempos de conversão e apenas uma amostra.



## Apêndice D

# Configuração do Raspberry

Neste anexo encontram-se descritos os passos necessários para colocar o Raspberry Pi 2 a funcionar como servidor *LAMP*. Estes pacotes, que serão instalados de seguida, são indispensáveis para que uma webpage dinâmica baseada em HTML[31] funcione.

Toda a instalação foi efetuada com recurso ao protocolo de rede "SSH"(Secure Shell) e importa referir ainda que o cartão SD do raspberry tem instalado a distribuição Raspbian.

Após efetuar a ligação ao IP atribuído pela infraestrutura de rede ao Raspberry, é necessário definir o utilizador e a sua respetiva password, para, de seguida, se poder efetuar a instalação do servidor *LAMP*. Caso o utilizador definido anteriormente não seja *root*, é necessário introduzir:

```
sudo su
```

Os comandos desta linha de código irão dar privilégios de super utilizador durante a secção estabelecida.

Para que o Raspberry esteja a par dos repositórios de software atuais, antes de proceder à instalação de qualquer aplicação, é boa prática proceder da seguinte forma:

```
apt-get update
```

Este, está agora pronto para instalar os pacotes necessários. Inicia-se com o apache2:

```
apt-get install apache2
```

E de seguida o php5:

```
apt-get install php5
```

seguido do pacote mysql:

```
apt-get install mysql-client mysql-server
```

Após todo este processo, encontra-se instalado o servidor *LAMP*, estando, assim, pronto para receber os ficheiros desenvolvidos pelo utilizador para a página *web*. Estes ficheiros ficam alojados no diretório `/var/www`, que podem ser acedidos com recurso ao programa *filezilla* (servidor SFTP).

Relativamente à base de dados MYSQL, foi criado, durante o processo de instalação, o utilizador *root*, que será usado para efetuar as ligações à base de dados. A criação das tabelas foi efetuada com recurso ao programa HeidiSQL. Mostra-se de seguida o código para a criação da base de dados, assim como seus conteúdos armazenados.



Listing D.1: Ficheiro criação tabelas da base de dados

```

CREATE DATABASE IF NOT EXISTS 'rp' ;
USE 'rp';

CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'rp_histtc' (
  'ID' bigint(20) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  'zoneID' bigint(20) DEFAULT NULL,
  'temperature' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'consumption' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'date' datetime NOT NULL DEFAULT '0000-00-00 00:00:00',
  PRIMARY KEY ('ID'),
  KEY 'FK_rp_histtc_rp_zones' (('zoneID'),
  CONSTRAINT 'FK_rp_histtc_rp_zones' FOREIGN KEY ('zoneID') REFERENCES
    'rp_zones' ('ID')
) ENGINE=InnoDB AUTO_INCREMENT=2656 DEFAULT CHARSET=latin1;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'rp_lamps' (
  'ID' bigint(20) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  'SSID' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'latitude' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'longitude' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'zoneID' bigint(20) DEFAULT NULL,
  'tilt' int(11) NOT NULL DEFAULT '0',
  'switch' int(11) NOT NULL DEFAULT '0',
  'current' int(11) NOT NULL DEFAULT '0',
  PRIMARY KEY ('ID'),
  UNIQUE KEY 'SSID' (('SSID'),
  KEY 'FK_rp_lamps_rp_zones' (('zoneID'),
  CONSTRAINT 'FK_rp_lamps_rp_zones' FOREIGN KEY ('zoneID') REFERENCES
    'rp_zones' ('ID')
) ENGINE=InnoDB AUTO_INCREMENT=178 DEFAULT CHARSET=latin1;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'rp_shifts' (
  'ID' bigint(20) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  'beginshift' time NOT NULL DEFAULT '00:00:00',
  'endshift' time NOT NULL DEFAULT '00:00:00',
  PRIMARY KEY ('ID')
) ENGINE=InnoDB AUTO_INCREMENT=4 DEFAULT CHARSET=latin1;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'rp_users' (
  'ID' bigint(20) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  'username' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'password' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'firstname' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'lastname' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'email' varchar(50) DEFAULT NULL,
  'phone' varchar(50) DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY ('ID'),
  UNIQUE KEY 'username' (('username')
) ENGINE=InnoDB AUTO_INCREMENT=15 DEFAULT CHARSET=latin1;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'rp_work' (

```

```

`ID` bigint(20) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
`userID` bigint(20) NOT NULL DEFAULT '0',
`shiftID` bigint(20) NOT NULL DEFAULT '0',
`zoneID` bigint(20) NOT NULL DEFAULT '0',
PRIMARY KEY (`ID`),
KEY `FK__rp_users` (`userID`),
KEY `FK_rp_work_rp_shifts` (`shiftID`),
KEY `FK_rp_work_rp_zones` (`zoneID`),
CONSTRAINT `FK_rp_work_rp_shifts` FOREIGN KEY (`shiftID`) REFERENCES
`rp_shifts` (`ID`),
CONSTRAINT `FK_rp_work_rp_zones` FOREIGN KEY (`zoneID`) REFERENCES `
`rp_zones` (`ID`),
CONSTRAINT `FK__rp_users` FOREIGN KEY (`userID`) REFERENCES `
`rp_users` (`ID`)
) ENGINE=InnoDB AUTO_INCREMENT=4 DEFAULT CHARSET=latin1;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `rp_zones` (
`ID` bigint(20) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
`zone` varchar(50) NOT NULL DEFAULT '0',
`state` int(11) NOT NULL DEFAULT '0',
`begindate` date DEFAULT NULL,
`begintime` time DEFAULT NULL,
`duration` int(11) DEFAULT NULL,
`newstate` int(11) NOT NULL DEFAULT '0',
PRIMARY KEY (`ID`)
) ENGINE=InnoDB AUTO_INCREMENT=19 DEFAULT CHARSET=latin1;

```

ID	zoneID	temperature	consumption	date
15,021	1	18.65	868.15	2016-05-08 08:29:39
15,020	1	18.59	819.73	2016-05-08 08:27:39
15,018	1	18.59	917.43	2016-05-08 08:26:39
15,017	1	18.65	824.79	2016-05-08 08:25:39
15,016	1	18.65	953.65	2016-05-08 08:24:39
15,015	1	18.59	807.14	2016-05-08 08:23:39
15,014	1	18.59	794.58	2016-05-08 08:22:39
15,013	1	18.59	862.25	2016-05-08 08:21:39
15,012	1	18.59	924.07	2016-05-08 08:20:39
15,011	1	18.59	846.94	2016-05-08 08:19:39
15,010	1	18.59	884.68	2016-05-08 08:17:39

Figura D.1: Conteúdo da tabela 'histórico'.

ID	SSID	latitude	longitude	zoneID	tilt	switch	current
179	01L0	40.63066265	-8.658337	1	0	0	0
174	01L1	40.63044281	-8.65810096	1	0	0	0
175	01L2	40.63026368	-8.65787566	1	1	0	0
176	01L3	40.63012526	-8.65768254	1	0	1	0
178	01L4	40.62995426	-8.65745723	1	1	1	0

Figura D.2: Conteúdo da tabela 'luminárias'.

ID	beginshift	endshift
1	00:00:00	08:00:00
2	08:00:00	16:00:00
3	16:00:00	24:00:00

Figura D.3: Conteúdo da tabela 'atribuir'.

ID	username	password	firstname	lastname	email	phone
1	admin	21232f297a57a5a743894a0e4a801fc3	Admin	(NULL)	(NULL)	915292997
10	ricky	21232f297a57a5a743894a0e4a801fc3	curandeiro	ze	curandeiro@ua.pt	915292997
12	ciclista	21232f297a57a5a743894a0e4a801fc3	Ciclista	Bino	andregomes@gmail.com	915292997
13	monofasico	21232f297a57a5a743894a0e4a801fc3	Andr��	Gomes	andregomes@gmail.com	915292997

Figura D.4: Conteúdo da tabela 'utilizadores'.

ID	userID	shiftID	zoneID
1	1	1	1
2	10	2	1
3	12	3	1

Figura D.5: Conteúdo da tabela 'turnos'.

ID	zone	state	begindate	beginitime	duration	newstate
1	Aveiro	0	2016-04-17	21:28:00	1	0
2	Beja	0	2015-10-06	(NULL)	(NULL)	0
3	Braga	0	0000-00-00	01:23:00	0	0
4	Bragan��a	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
5	Castelo Branco	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
6	Coimbra	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
7	��vora	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
8	Faro	0	2016-01-27	13:30:00	5	0
9	Guarda	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
10	Leiria	0	2015-10-28	13:05:00	30	0
11	Lisboa	0	2015-10-06	14:10:00	145	0
12	Portalegre	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
13	Porto	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
14	Santar��m	0	2015-10-28	14:01:00	1	0
15	Set��bal	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
16	Viana do Castelo	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
17	Vila Real	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0
18	Viseu	0	(NULL)	(NULL)	(NULL)	0

Figura D.6: Conteúdo da tabela 'zonas'.

## Apêndice E

# Excertos de Código

Listing E.1: INA226-Escrever

```
void escrever_ina(uint8_t registo, uint16_t valor)
{
    Wire.beginTransmission(0x40);
    Wire.write(registo);
    Wire.write((uint8_t)(valor >> 8)); //HIGH
    Wire.write((uint8_t)valor); //LOW
    Wire.endTransmission();
}
```

Listing E.2: INA226-Ler

```
int16_t ler_ina(uint8_t registo)
{
    Wire.beginTransmission(0x40);
    Wire.write(registo);
    Wire.endTransmission();
    Wire.beginTransmission(0x40);
    Wire.requestFrom(0x40, 2);
    uint8_t valorh = Wire.read();
    uint8_t valorl = Wire.read();
    Wire.endTransmission();
    return valorh << 8 | valorl;
}
```

Listing E.3: BH1750-Ler

```
int ler_lux()
{
    int i, x = 0; byte bufer[2];
    Wire.beginTransmission(0x23);
    Wire.write(0x10); //continuously H-resolution mode
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(0x23, 2); // 0x23
    while(Wire.available()) {bufer[i] = Wire.read(); i++;}
    x = ((bufer[1] | bufer[0] << 8)) / 1.2;
    return x;
}
```

Listing E.4: DS18B20

```
int ler_Temp ()
{
    int temp = 0;
    tp.reset(); // reset pulse
    tp.skip();  // Skip ROM
    tp.write(0x44);
    tp.reset();
    tp.skip();
    tp.write(0xBE); // read 9 bytes
    temp = ((tp.read() + tp.read() * 256 ) * 625)/10000; // decimal
    return temp;
}
```

## Apêndice F

### Imagens do protótipo

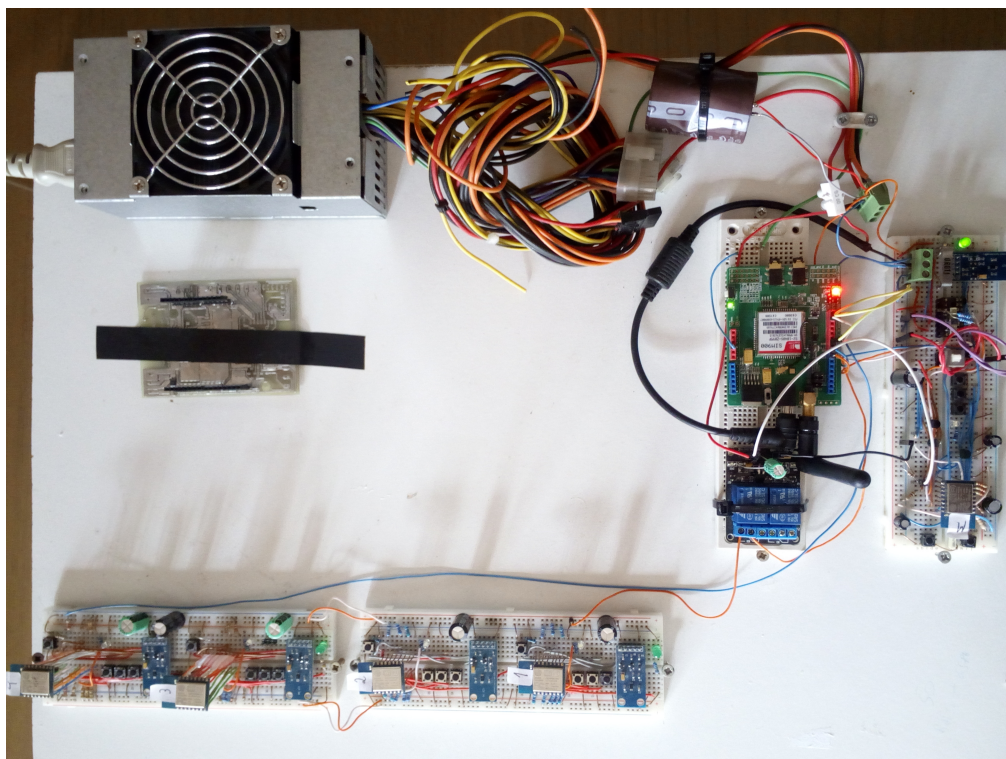


Figura F.1: Vista superior Protótipo Laboratorial.



Figura F.2: Vista superior do *Raspberry*.

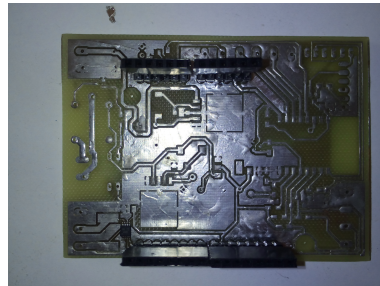


Figura F.3: Vista superior PCB master.

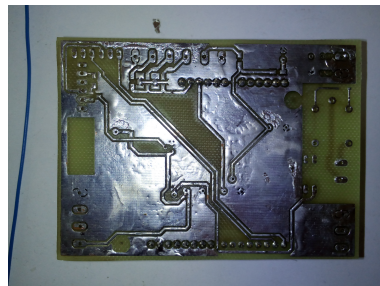


Figura F.4: Vista inferior PCB master.